

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC**

**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**DOUGLAS ALVES**

**ESTUDO DOS RESULTADOS DE MONITORAMENTO DE OZÔNIO NA  
QUALIDADE DO AR NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DE UMA TERMOELÉTRICA**

**CRICIÚMA**

**2015**

**DOUGLAS ALVES**

**ESTUDO DOS RESULTADOS DE MONITORAMENTO DE OZÔNIO NA  
QUALIDADE DO AR NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DE UMA TERMOELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de conclusão no curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Controle de Qualidade do Ar.

Orientadora: Prof. Paula Tramontim Pavei

**CRICIÚMA**

**2015**

**DOUGLAS ALVES**

**ESTUDO DOS RESULTADOS DE MONITORAMENTO DE OZÔNIO NA  
QUALIDADE DO AR NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DE UMA TERMOELÉTRICA.**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental, no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Controle de Qualidade do Ar.

Criciúma, 25 de novembro de 2015.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Paula Tramontim Pavei - Mestre - UNESC - Orientadora

Prof. Marta Valéria Guimarães de Souza Hoffman – Mestre - UNESC

Prof. Nadja Zim Alexandre – Mestre – UNESC

**Dedico este trabalho aos meus pais e irmãos, exemplos de perseverança, que estiveram ao meu lado me apoiando e incentivando, família é a base de tudo. Minha esposa por toda compreensão em todos os momentos e minha filha por ser a minha fonte de inspiração.**

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço a Deus pelo dom de vida que me concedeu e permitiu que tudo isso acontecesse iluminando meu caminho ao longo da minha vida, e não somente nesses anos como universitário, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer. Ele, que a mim atribuiu alma e missões pelas quais já sabia que eu iria batalhar e vencer.

Aos meus pais Carlos e Eliana, por me ensinarem tudo de melhor que poderiam, por direcionar a mim todo o amor que um filho sempre sonhou em receber e dar a base para que eu chegasse até aqui, vencendo este desafio honestamente.

Agradeço minha esposa e minha filha por todo apoio, companheirismo, paciência e compreensão me incentivando nas horas difíceis, de desânimo e cansaço.

Aos meus verdadeiros amigos e familiares que muitas vezes precisei me privar de momentos juntos para me dedicar a estudos e leituras, mas que sempre fizeram entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente.

Agradeço a coordenação do Curso de Engenharia Ambiental e todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender. A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados aos quais sem nominar terão meus eternos agradecimentos.

Agradeço a minha orientadora Paula Tramontim Pavei, por ter me aceitado como seu orientando, pelo empenho dedicado a elaboração deste trabalho e por todo o conhecimento transmitido. Com certeza foi parte fundamental desta trajetória. Obrigado pelo carinho e toda dedicação.

Agradeço a oportunidade de estágio na empresa pela qual consegui desenvolver meu trabalho onde contribuíram para a concretização dos resultados alcançados e por todos vínculos de amizade feito no decorrer desta pesquisa.

Agradeço aos pesquisadores e professores da banca examinadora pela atenção e contribuição dedicada a este estudo.

Agradeço a UNESCO pelo conhecimento proporcionado nestes anos e aos amigos que fiz neste curso acadêmico, pelos tantos momentos de estudo que

passamos juntos durante esta jornada.

Meus sinceros agradecimentos a todos que direta e indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

**“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis”**

**José de Alencar**

## RESUMO

Usina termoeletrica é uma instalação industrial responsável por produzir energia através da queima de combustíveis (de origem fóssil, como carvão mineral, gás, óleo, entre outras fontes de calor). A termoeletrica em estudo é constituída por três unidades, compostas no total por sete caldeiras, cujo combustível utilizado é o carvão mineral. Os mecanismos de formação de poluentes atmosféricos estão ligados ao tipo de carvão que é utilizado, bem como as tecnologias de combustão, porém os principais poluentes emitidos são gases ( $\text{SO}_x$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{NO}_x$ ) e material particulado. Dentre os poluentes emitidos pela termoeletrica, o  $\text{NO}_x$  desempenha um papel importante na formação de novos compostos na atmosfera, tais como ozônio, um poluente secundário formado na troposfera pela reação de outros gases na presença de luz solar. Tal composto pode ocasionar problemas de saúde a população, tais com redução da capacidade pulmonar e agravamento de doenças respiratórias, como a asma. Em função do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as concentrações de ozônio e seu precursor na qualidade do ar da área de estudo, correlacionando com dados meteorológicos e geração de energia de uma termoeletrica. Para isso utilizou-se o programa SIA (Sistema Informações Ambiental), resgatando os dados de sazonalidade da qualidade do ar do ano de 2013 e 2014, para o parâmetro de ozônio e dióxido de nitrogênio. Tais dados foram obtidos em três estações automáticas da qualidade do ar, distribuídas no município A onde a termoeletrica está instalada e no município B vizinho. As concentrações obtidas foram comparadas com limites estabelecidos na Resolução CONAMA nº 03 de 28 de junho de 1990. Além disto, relacionou-se também tais concentrações às condições meteorológicas na região no período monitorado, emissão de óxido de nitrogênio, a geração de energia da termoeletrica em estudo e a frota de veículos dos municípios A e B. As concentrações não ultrapassaram os padrões primários e níveis críticos de qualidade do ar estabelecidos na Resolução CONAMA nº 03 de 28 de junho de 1990. Os dados meteorológicos contribuíram para interpretação da dispersão de poluentes atmosféricos e na análise das concentrações obtidas nas estações de monitoramento da qualidade do ar. Observou-se que as condições meteorológicas influenciaram nas condições de qualidade do ar nos locais monitorados.

**Palavras-chave:** Ozônio. Gases Precursores. Monitoramento da Qualidade do ar. Fontes de Emissões. Termoeletrica.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - A estrutura da atmosfera da Terra segundo um eixo vertical.....	19
Figura 02 - Formação de névoa fotoquímica durante um período de 24 horas.....	27
Figura 03 - Emissões combinadas de poluentes do ar nos Estados Unidos e Canadá pelos vários setores. ....	30
Figura 04 - Emissões relativas por tipos de fonte.....	31
Figura 05 - Esquema de um analisador de quimiluminescência. ....	40
Figura 06 - Delimitação dos municípios A e B.....	43
Figura 07 - Termoelétrica em estudo suas três unidades e três estações de monitoramento qualidade do ar.....	44
Figura 08 - Estação Monitoramento Qualidade do Ar 1. ....	45
Figura 09 - Estação Monitoramento Qualidade do Ar 2. ....	46
Figura 10 - Estação Monitoramento Qualidade do Ar 3. ....	47
Figura 11 - Concentração de ozônio e dióxido de nitrogênio no Outono.....	51
Figura 12 - Rosa dos ventos na estação de Outono. ....	53
Figura 13 - Concentração de ozônio e dióxido de nitrogênio no Inverno. ....	55
Figura 14 - Rosa dos ventos na estação Inverno. ....	57
Figura 15 - Concentração de ozônio e dióxido de nitrogênio na Primavera. ....	58
Figura 16 - Rosa dos ventos na estação Primavera.....	60
Figura 17 - Concentração de ozônio e dióxido de nitrogênio no Verão.....	61
Figura 18 - Rosa dos ventos na estação Verão. ....	63
Figura 19 - Fontes móveis no município A e município B. ....	65

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Reações simplificadas responsáveis pela formação do smog fotoquímico.....	26
Tabela 02 - Tipos de fontes de emissão de poluentes atmosféricos.....	29
Tabela 03 - Padrões de qualidade do ar da resolução CONAMA nº. 003 de1990. ....	33
Tabela 04 - Padrões de qualidade do ar do Decreto Paulista nº 59.113/2013. ....	35
Tabela 05 - Critérios para episódios agudos de poluição do ar conforme Decreto Paulista nº. 59.113/2013. ....	35
Tabela 06 - Estrutura do índice de qualidade do ar do Decreto nº. 59.113/2013. ....	36
Tabela 07 - Condições meteorológicas do Outono. ....	52
Tabela 08 – Concentrações de dióxido de nitrogênio nas estações de monitoramento no Outono.....	53
Tabela 09 - Condições meteorológicas do Inverno. ....	56
Tabela 10 – Concentrações de dióxido de nitrogênio nas estações de monitoramento no Inverno. ....	56
Tabela 11 - Condições meteorológicas da Primavera.....	59
Tabela 12 – Concentrações de dióxido de nitrogênio nas estações de monitoramento na Primavera.....	59
Tabela 13 - Condições meteorológicas do Verão.....	62
Tabela 14 – Concentrações de dióxido de nitrogênio nas estações de monitoramento no Verão.....	63
Tabela 15 - Emissão atmosféricas de NOx e geração de energia nas diferentes estações do ano.....	64

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abr – Abril

Ago - Agosto

Art. - Artigo

Ccm- Complexos Convectivos de Mesoescala

ccpm - Centímetros Cúbicos Padrão por Minuto

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CFC - Clorofluorcarboneto

CO - Monóxido de Carbono

CO<sub>2</sub> - Dióxido de Carbono

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

COV - Compostos Orgânicos Voláteis

DETRAN - Departamento Estadual de Trânsito

Dez -Dezembro

E - Este ou Leste

ENE - Leste-nordeste

ESE - Leste-sudeste

EUA - Estados Unidos da América

FMC - Fumaça

GNV - Gás Natural Veicular

h - hora

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> - Peróxido de Hidrogênio

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - Ácido Sulfúrico

HC - Hidrocarboneto

HNO<sub>3</sub> - Ácido Nítrico

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Jul- Julho

Jun - Junho

K - Potássio

Km - Quilômetro

Km<sup>2</sup> - Quilômetro quadrado

m - Metro

m/s - Metros por segundo  
MAA - Média Aritmética Anual  
Mai - Maio  
MGA - Média Geométrica Anual  
MI - Metas Intermediárias  
mm - Milímetros  
MP- Material Particulado  
MP<sub>10</sub>- Material Particulado (<10 µg)  
MP<sub>2,5</sub> - Material Particulado (<2,5 µg)  
MW - Megawatts  
N - Norte  
Nº - Número  
N<sub>2</sub> - Nitrogênio  
N<sub>2</sub>O - Óxido Nitroso  
N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Anidrido Nitroso  
N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> - Tetróxido de Dinitrogênio  
NE - Nordeste  
NNE - Norte-nordeste  
NNW- Norte-noroeste  
NO - Monóxido de Nitrogênio  
NO<sub>2</sub> - Dióxido de Nitrogênio  
NO<sub>3</sub> - Trióxido de Nitrogênio  
Nov - Novembro  
NO<sub>x</sub> - Óxidos de Nitrogênio  
NW - Noroeste  
O - Oxigênio Atômico  
O<sub>2</sub> - Gás Oxigênio  
O<sub>3</sub> - Ozônio  
Out - Outubro  
Pa - Progressão aritmética  
Pb - Chumbo  
PF - Padrões Finais  
PI - Partículas Inaláveis  
ppm - Partes por milhão

PRONAR - Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar

PTS - Partículas Totais em Suspensão.

RO<sub>2</sub> - Radicais Peróxido

S - Sul

SC - Santa Catarina

SE - Sudeste

Set - Setembro

SIA – Sistema de Informação Ambiental

SO<sub>2</sub> - Dióxido de Enxofre

SO<sub>3</sub> - Trióxido de Enxofre

SO<sub>x</sub> - Óxidos de Enxofre

SSE - Sul-sudeste

SSW - Sul-sudoeste

SW - Sudoeste

TCC - Trabalho de Conclusão de Curso

TFM - Tubo Fotomultiplicador

UNESC - Universidade do Extremo Sul Catarinense

Vel - Velocidade

W - Oeste

W/m<sup>2</sup> - Watt por metro quadrado

WNW - Oeste-noroeste

WSW - Oeste-sudoeste

% - Percentual

°C - Grau Celsius

µm - micrometro

µm/m<sup>3</sup> - micrograma por metro cúbico

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>18</b>
2.1 POLUIÇÃO DO AR .....	18
2.2 POLUENTES ATMOSFÉRICOS .....	20
2.2.1 Material Particulado. ....	21
2.2.2 Dióxido de Enxofre ( SO <sub>2</sub> ).....	22
2.2.3 Monóxido de carbono ( CO). ....	22
2.2.4 Óxidos de nitrogênio (NO <sub>x</sub> ).....	22
2.2.5 Compostos orgânicos voláteis (COVs) .....	23
2.2.6 Ozônio (O <sub>3</sub> ).....	24
2.3 FORMAÇÃO DE OZÔNIO TROPOSFÉRICO .....	25
2.4 FONTES DE EMISSÕES DE GASES PRECURSORES DE OZÔNIO .....	28
2.5 LEGISLAÇÃO VIGENTE DE QUALIDADE DO AR .....	31
2.5.1 Resolução CONAMA nº 005 de 1989.....	31
2.5.2 Resolução CONAMA nº 003 de 1990 .....	32
2.5.3 Decreto Estadual Paulista nº 59113 de 23/04/2013 .....	34
2.6 MONITORAMENTO QUALIDADE DO AR .....	36
2.6.1 Método de amostragem NO <sub>x</sub> por quimiluminescência.....	38
2.6.2 Método de amostragem O <sub>3</sub> por fluorescência .....	40
2.7 POLUIÇÃO ATMOSFERICA NA GERAÇÃO TERMOELÉTRICA.....	40
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>42</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	42
3.2 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR .....	47
3.3 AVALIAÇÃO DAS POSSÍVEIS ORIGENS DOS POLUENTES MONITORADOS .....	48
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....</b>	<b>50</b>
4.1 MONITORAMENTO DE DIÓXIDO DE NITROGÊNIO E OZÔNIO NA QUALIDADE DO AR .....	50
4.1.1 Estação do ano – outono.....	51
4.1.2 Estação do ano – inverno .....	54
4.1.3 Estação do ano – primavera.....	57
4.1.4 Estação do ano – verão .....	61

4.2	RELAÇÃO ENTRE PRODUÇÃO DE ENERGIA E RESULTADOS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR .....	64
4.3	FONTES PRECURSORAS DE OZÔNIO NA REGIÃO DO EMPREENDIMENTO .....	65
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>67</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Usina termoeletrica é uma instalação industrial responsável por produzir energia através da queima de determinado combustível, gerando calor. O combustível utilizado pode ser de origem fóssil, como carvão mineral, gás, óleo, entre outros; biomassa ou outras fontes de calor, tais como a fissão nuclear.

As instalações destes empreendimentos podem ser construídas em locais próximos as regiões de alto consumo ou não, porém é uma necessidade a proximidade de recursos hídricos, visto que são utilizadas grandes quantidades de água para refrigerar equipamentos e gerar energia.

O princípio de funcionamento de uma termoeletrica constitui inicialmente no armazenamento do combustível que posteriormente é enviado por correias transportadoras até a usina, onde será queimado na caldeira. No compartimento da caldeira ocorre a geração de vapor, responsável pela movimentação das pás de uma turbina, cujo rotor circula junto ao eixo de um gerador, produzindo energia elétrica. Tal energia é transportada por linhas de alta tensão até a central de distribuição. O vapor gerado é resfriado em um condensador e transformado novamente em líquido, retornando a caldeira em um circuito fechado.

A termoeletrica em estudo é constituída por três unidades, compostas no total por sete caldeiras, cujo combustível utilizado é o carvão mineral. Em virtude deste processo de queima há a geração de emissões atmosféricas, que são tratadas em precipitadores eletrostáticos e posteriormente lançadas na atmosfera por chaminés de 100 m; 150 m e 200 m. Nestas estruturas estão acoplados equipamentos de monitoramento contínuo de material particulado. Além disto, são realizados semestralmente monitoramentos descontínuos dos demais poluentes atmosféricos, conforme determinado pelo órgão ambiental nas condicionantes da licença de operação.

Os mecanismos de formação de poluentes atmosféricos estão ligados ao tipo de carvão que é utilizado, bem como as tecnologias de combustão, porém os principais poluentes emitidos são gases ( $\text{SO}_x$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{NO}_x$ ) e material particulado, ambos monitorados e comparados com a legislação vigente.

Visando avaliar a contribuição destas emissões na qualidade do ar da região, a empresa dispõe de três estações de monitoramento de qualidade do ar, localizadas em pontos estratégicos na região de influência da usina. Dois pontos



estão localizados no município vizinho, onde são monitorados  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CO}$  material particulado  $\text{MP}_{10}$  e  $\text{MP}_{2,5}$ ; outra estação está localizada no município de estudo, monitorando-se  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}$  e material particulado  $\text{MP}_{10}$ .

Dentre os poluentes emitidos pela termoeletrica, o  $\text{NO}_x$  desempenha um papel importante na formação de novos compostos na atmosfera, tais como ozônio, um poluente secundário formado na troposfera pela reação de outros gases na presença de luz solar. Tal poluente apresenta potencial de ocasionar diversos efeitos à saúde, tais como irritação nos olhos e doenças respiratórias; efeitos à fauna e flora; dentre outros.

Observou-se nos últimos anos que os resultados de ozônio no ar atmosférico monitorados na estação de monitoramento têm apresentado uma elevação em suas concentrações. Considerando que além das emissões no processo de queima do carvão mineral, os gases precursores do ozônio podem ser emitidos por outras fontes, como os veículos e indústrias, torna-se importante avaliar a origem destes poluentes.

Em virtude do exposto, este trabalho tem por objetivo geral avaliar as concentrações de ozônio e seu precursor na qualidade do ar da área de estudo, correlacionando com dados meteorológicos, emissão óxidos nitrogênio e geração de energia de uma termoeletrica.

Para o alcance do objetivo geral definiram-se os seguintes objetivos específicos:

- Analisar os resultados de qualidade do ar obtidos nas estações de monitoramento pertencente à termoeletrica e correlacionar com os dados meteorológicos da região;
- Correlacionar a geração de energia e de emissão óxidos nitrogênio, com as concentrações do ozônio e seus precursores, obtidas nas estações de monitoramento em estudo;
- Identificar as fontes móveis de emissões de gases precursores de ozônio existentes na região;
- Avaliar a contribuição das emissões da termoeletrica na formação do gás ozônio.

Pretende-se com tal estudo, identificar a contribuição das emissões da termoeletrica na qualidade do ar da região estudada, em relação à presença deste

poluente, o que subsidiará futuramente as ações de controle em relação a tais emissões.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 POLUIÇÃO DO AR

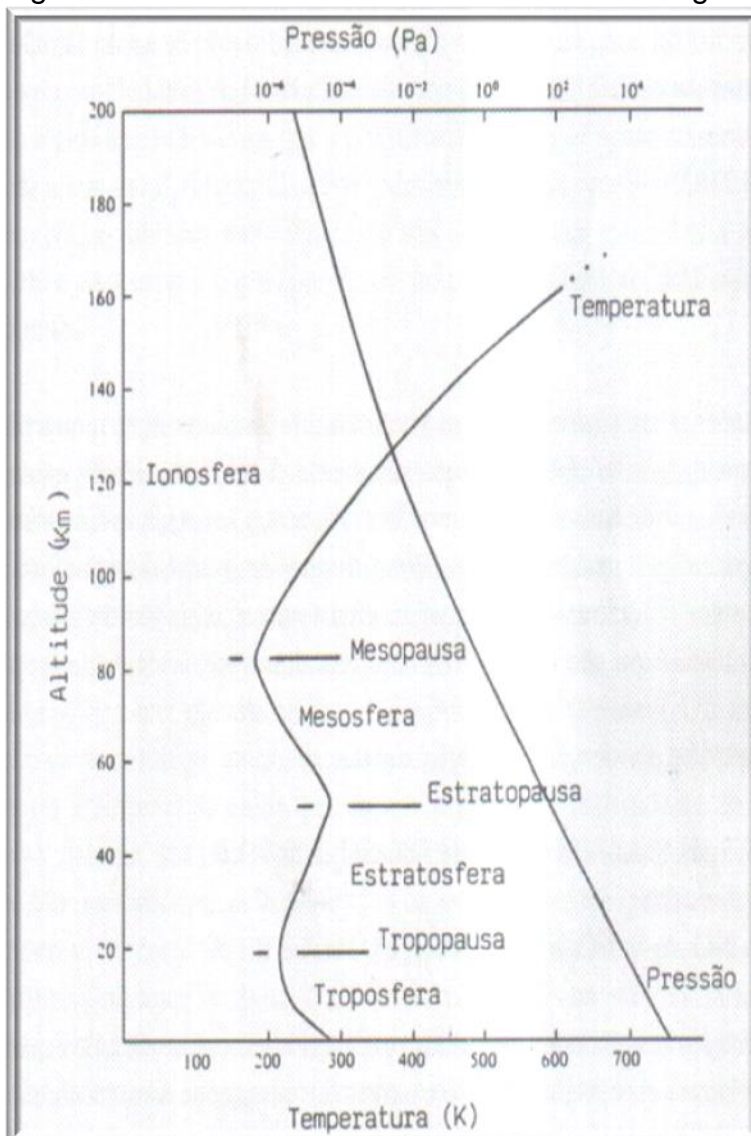
A partir da revolução industrial o ser humano passou a interferir de forma mais significativa na composição da atmosfera do planeta, sem conhecer as suas consequências. Desta forma, os mecanismos naturais de purificação dos compostos indesejáveis da atmosfera e regeneração das substâncias essenciais para vida estão sendo alterados, prejudicando o ambiente e ocasionando determinados fenômenos como o aquecimento global, destruição da camada de ozônio, entre outros (ROCHA, ROSA E CARDOSO, 2004).

A atmosfera é uma fina camada de gases que envolve o planeta, sendo um grande recurso para todos os seres vivos que o habitam. É composto de moléculas gasosas que se mantêm próximas da superfície terrestre através de um balanço entre gravidade e movimentos térmicos das moléculas de ar (ZILBERMAN, 1997, p.36).

A mesma é composta por nitrogênio (78%), oxigênio (21%), argônio (0,9%) e dióxido de carbono (0,03%), que são os principais gases, e ainda menores quantidades ou traços de outros inúmeros elementos e compostos, incluindo ozônio, metano, ácido sulfídrico, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e enxofre, hidrocarbonetos, clorofluorcarbonos (CFCs), particulados e aerossóis. O vapor d'água está presente com volume variando de 1 a 4% (ZILBERMAN, 1997).

Atmosfera é dividida em quatro camadas, levando em consideração a variação de pressão, temperatura e altitude. A figura 01 mostra as camadas da atmosfera (troposfera, estratosfera, mesosfera e ionosfera) segundo um eixo vertical (GOMES, 2001).

Figura 01 - A estrutura da atmosfera da Terra segundo um eixo vertical.



Fonte: Gomes, 2001.

Vários tipos de reações químicas ocorrem na atmosfera. Trata-se de um sistema dinâmico com constantes mudanças, constituindo um vasto sistema químico-reagente. A mesma tem como combustível a luz solar e compostos emitidos por seres vivos e atividades humanas. (ZILBERMAN, 1997).

Os problemas de poluição do ar acontecem desde a idade antiga em Roma, onde surgiram as primeiras reclamações. No século XIII foram assinadas as primeiras leis de qualidade do ar pelo Rei Eduardo da Inglaterra, proibindo a queima de carvão e o uso do mesmo com alto teor de enxofre devido a fumaça e odor produzido (BRAGA et al, 2002).

A Política Nacional do Meio Ambiente, disposta na Lei nº 6938 de 31 de Agosto de 1981, em seu Art. 3º, inciso II, define que poluição:

É a degradação da qualidade ambiental resultante de atividade que direta ou indiretamente: a) prejudique a saúde, a segurança e o bem-estar da população; b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; c) afetem desfavoravelmente a biota; d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente. (BRASIL, 1981, p. 01).

Ao falar em tudo aquilo que possa interferir no conforto e qualidade de vida, Gomes (2001) apresenta uma definição específica em relação à poluição do ar:

A poluição do ar significa a presença na atmosfera exterior de um ou mais contaminantes tais como poeira, fumos, gases, névoas, odores ou vapores em quantidades ou com característica ou com uma duração tais que possam ser nocivos para a vida humana, vegetal ou animal ou bens ou ainda que interfira significativamente com a possibilidade de usufruir de boas condições de vida. (GOMES, 2001, p. 17).

## 2.2 POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Com o crescimento da industrialização e aumento do fluxo de veículos, a quantidade de emissões de poluentes atmosféricos também cresce exponencialmente, fazendo com que a atmosfera não consiga se regenerar, tornando-a cada vez mais poluída (GOMES, 2001).

A resolução CONAMA nº. 03 de 28 de Junho de 1990, no parágrafo único do artigo 1º, trás um entendimento sobre poluente atmosférico.

Poluente atmosférico é toda e qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos em legislação, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade. (BRASIL, 1990, p. 01).

Os poluentes podem ser classificados como poluentes primários, aqueles formados pelos compostos lançados diretamente na atmosfera por uma fonte natural ou antrópica; e secundários, que são os poluentes formados por reações químicas entre poluentes primários e outros gases constituintes da atmosfera (BRAGA et al, 2002; PEDROSO, 2007).

A resolução CONAMA nº 003 de 28 de Junho de 1990, no seu artigo 3º, estabelece os indicadores de qualidade do ar, sendo eles: Material particulado (partículas totais em suspensão (PTS), fumaça, partículas inaláveis (PI)); Dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>); Monóxido de carbono (CO); Dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>); Ozônio (O<sub>3</sub>) (BRASIL, 1990).

Considerando o objetivo deste trabalho, serão expressos com maior detalhamento neste referencial teórico o poluente ozônio e seus gases precursores porém serão citados os outros parâmetros.

### 2.2.1 Material Particulado.

A quantidade de material sólido ou líquido encontrado na atmosfera é denominado Material Particulado Total em Suspensão e sua medida é a massa total por unidade de volume ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Essas partículas, conforme sua granulometria, consegue ser visível (poeira, fumaça e cinza) e se mantém em suspensão na atmosfera por causa do seu pequeno tamanho (CETESB 2015a; ROCHA, ROSA E CARDOSO 2004), .

Conforme Braga et al (2002), esses contaminantes podem ser resultados de um processo de combustão (fuligem e partículas de óleo) ou por processo natural (suspensão de material por interferência do vento).

A granulometria da partícula esta associada diretamente com os problemas de saúde, conforme seu menor tamanho o grau de efeitos provocados é maior (CETESB 2015a).

Para CETESB (2015a), a classificação do material particulado pode ser classificada com:

**Partículas Totais em Suspensão (PTS):** Podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 50  $\mu\text{m}$ . Uma parte destas partículas é inalável e pode causar problemas à saúde, outra parte pode afetar desfavoravelmente a qualidade de vida da população, interferindo nas condições estéticas do ambiente e prejudicando as atividades normais da comunidade.

**Partículas Inaláveis (MP<sub>10</sub>):** Podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 10  $\mu\text{m}$ . Dependendo da distribuição de tamanho na faixa de 0 a 10  $\mu\text{m}$ , podem ficar retidas na parte superior do sistema respiratório ou penetrar mais profundamente, alcançando os alvéolos pulmonares.

**Partículas Inaláveis Finas (MP<sub>2,5</sub>):** Podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que

2,5  $\mu\text{m}$ . Devido ao seu tamanho diminuto, penetram profundamente no sistema respiratório, podendo atingir os alvéolos pulmonares.

**Fumaça (FMC):** Está associada ao material particulado suspenso na atmosfera proveniente dos processos de combustão. O método de determinação da fumaça é baseado na medida de refletância da luz que incide na poeira (coletada em um filtro), o que confere a este parâmetro a característica de estar diretamente relacionado ao teor de fuligem na atmosfera.

### 2.2.2 Dióxido de Enxofre ( $\text{SO}_2$ )

Os óxidos de enxofre são encontrados em processo de combustão usando material que contenha enxofre em sua composição, além de serem gerados tanto na água como no solo, por processos biogênicos naturais (BRAGA et al, 2002).

A a queima do carvão é um das maiores emissões de dióxido de enxofre que esta na forma de pirites ferrosa ( $\text{FeS}_2$ ), sulfatos e compostos orgânicos (GOMES, 2001).

Em muitas análises a uma certa distância da fonte, a ausência de concentração elevada  $\text{SO}_2$  não quer dizer que a fonte não esteja emitindo essa concentrações pois ela pode ser convertida em sais tais como sulfetos ou ácidos (GOMES, 2001).

### 2.2.3 Monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ).

É um composto incolor e inodoro gerado por combustíveis fósseis em uma processo de combustão incompleta ou por material que contenha carbono em sua composição. As altas concentrações são encontrados em áreas com fluxo intenso de veículos (BRAGA et al,2001; CETESB 2015a).

### 2.2.4 Óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ )

Os óxidos de nitrogênio são encontrados na atmosfera com diferentes combinações:  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}_5$ . Dentre eles, somente  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$  e  $\text{NO}_2$  são encontrados em quantidades significativas e apresentam papel relevante na química atmosférica (ROCHA, ROSA E CARDOSO, 2004, p. 77).

Os óxidos de nitrogênio são emitidos por fontes fixas e móveis onde ocorre combustão incompleta, e também por reações químicas. São encontrados próximos a qualquer ocorrência de processo de combustão (CETESB, 2014).

A concentração elevada de nitrogênio na atmosfera juntamente com oxigênio pode ser expressa como  $N_2 + O_2 = 2NO$  (monóxido de nitrogênio), que gera uma mistura em equilíbrio e conforme elevação da temperatura, maior é a quantidade de formação (ROCHA, ROSA E CARDOSO, 2004).

O monóxido de nitrogênio é um gás incolor e inodoro, produzido na natureza por ação microrganismos, sendo também um dos principais poluentes produzidos pela ação humana, pois é comum a todos os processos de combustão. Na atmosfera, ele é oxidado rapidamente por ozônio em processos fotoquímicos e, mais lentamente, por oxigênio, formando, em ambos os casos, dióxido de nitrogênio (ROCHA, ROSA E CARDOSO, 2004, p. 77).

A inalação deste gás é prejudicial à saúde, visto que por apresentar baixa solubilidade penetra no sistema respiratório, podendo dar origem a nitrosaminas, substâncias carcinogênicas. Também é um poderoso irritante, podendo conduzir a um sintoma que lembra a enfisema (DERISIO, 2000).

O NO se forma durante processo de combustão onde os veículos são os principais responsáveis pela emissão. A radiação solar o transforma em  $NO_2$  (dióxido de nitrogênio) que tem um papel fundamental na formação de oxidantes fotoquímicos como o ozônio ( $O_3$ ) (CETESB, 2015a).

O dióxido de nitrogênio é uns dos principais gases que se encontram em grandes centros urbanos. Em alta concentração tem a cor avermelhada e um odor irritante, embora seja emitido em pequena quantidade por fonte primária, tem como principal fonte a rápida oxidação do NO na atmosfera por fontes secundárias (ROCHA, ROSA E CARDOSO, 2004).

A concentração de ozônio assim formada seria muito fraca se não houvesse uma outra forma de oxidar NO em  $NO_2$  sem consumir ozônio. É a função que desempenham os radicais livres, como os radicais peróxido ( $RO_2$ ), obtidos pela oxidação dos hidrocarbonetos [...] (MOUVIER, 1997, p.19).

## 2.2.5 Compostos orgânicos voláteis (COVs)

São chamados de compostos orgânicos voláteis (COV) os compostos gasosos presentes na atmosfera. Eles compreendem especialmente os hidrocarbonetos gasosos. Todos são oxidados e sofrem, em sua maioria, a ação de um radical hidroxila que lhes subtrai um átomo de hidrogênio (...) (MOUVIER, MACHADO 1997, p.23).



Os COV's são emitidos tanto por fontes fixas, na evaporação de combustíveis e solventes, quanto por fontes móveis, decorrente da liberação por queima incompleta, podendo ser encontrado em grandes centros que tenha um fluxo intenso de veículos (ROCHA, ROSA E CARDOSO, 2004).

Os COVs mais reativos no ar urbano são os hidrocarbonetos que contêm uma ligação dupla,  $C=C$ , dado que eles podem adicionar-se aos radicais livres. Outros hidrocarbonetos também estão presentes e podem reagir mas sua velocidade de reação é bem lenta; contudo, sua reatividade pode tornar-se importante nos últimos estágios do smog fotoquímico (BAIRD, 2002, p.112).

### 2.2.6 Ozônio ( $O_3$ )

O ozônio é um gás invisível, com cheiro marcante, composto por 3 átomos de oxigênio, altamente reativo que está presente na alta atmosfera e na superfície. Quando presente nas altas camadas da atmosfera nos protege dos raios ultravioletas do sol, quando formado próximo ao solo comporta-se como poluente. É o principal representante do grupo de poluentes designados genericamente por oxidantes fotoquímicos, sendo formado pela reação dos hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio presentes no ar, sob ação da radiação solar. (AMARAL, PIUBELI 2003, p. 03).

Existem dois tipos de ozônio encontrados na atmosfera, o ozônio bom e o ruim. O bom ozônio é aquele encontrado na estratosfera de forma natural, formado por uma camada protetora contra os efeitos danosos da radiação ultravioleta. Já o mau ozônio é considerado um poluente, conhecido como smog fotoquímico, visto que está presente na estratosfera e pode ocasionar uma série de efeitos à saúde, como irritação nos olhos e doenças respiratórias, na vegetação prejudicando a colheita, entre outros (CETESB, 2015b).

Ozônio troposférico é um gás secundário, formado por reações químicas entre compostos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis – denominados como gases precursores de ozônio – em presença de luz solar (ROCHA, ROSA E CARDOSO, 2004).

A exposição ao ozônio pode ocasionar uma série de problemas à saúde:

A presença dos oxidantes fotoquímicos na atmosfera tem sido associada com a redução da capacidade pulmonar e com o agravamento de doenças respiratórias, como a asma. Estudos realizados em animais mostram que o ozônio causa envelhecimento precoce, provoca danos na estrutura pulmonar e diminui a

capacidade de resistir às infecções respiratórias. Mesmo pessoas saudáveis como atletas, têm se mostrado sensíveis aos efeitos do ozônio (DERISIO, 2000, p.102).

## 2.3 FORMAÇÃO DE OZÔNIO TROPOSFÉRICO

A formação de ozônio troposférico é denominada de smog fotoquímico. Os reagentes têm uma função fundamental na formação do conhecido smog fotoquímico, esse fenômeno ocorre principalmente em regiões industrializadas ou em grandes cidades com um tráfego intenso. O termo fotoquímico é utilizado porque a luz desempenha um papel fundamental para ativar a reação e o smog é uma névoa em que a cidade fica envolvida, esse fenômeno ocorre com maior intensidade em dias de muito sol e pouco vento (ROCHA, ROSA E CARDOSO, 2004).

Os reagentes originais mais importantes nas ocorrências da formação do ozônio são os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e os hidrocarbonetos emitidos para o ar por queima incompleta de motores de combustão e outras fontes. As concentrações que podem estar presentes na atmosfera são algumas ordens de grandeza maiores que as encontradas no ar puro. Outro fator que influencia na reação é a luz solar, que aumenta as concentrações de radicais livres que participam no processo químico (BAIRD, 2002).

Na troposfera, onde as únicas radiações solares presentes têm comprimentos de onda superiores a 290nm, o dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) é a molécula mais facilmente fotolisável. Ela se dissocia em monóxido de nitrogênio ( $\text{NO}$ ) e em oxigênio atômico ( $\text{O}$ ). Este reage com o oxigênio molecular ( $\text{O}_2$ ) para formar o ozônio ( $\text{O}_3$ ), que pode em seguida reoxidar o monóxido de nitrogênio ( $\text{NO}$ ) em dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) (MOUVIER, MACHADO 1997, p. 18).

Vesilind; Morgan, (2011) expõem as reações químicas envolvidas no processo de formação de ozônio (Tabela 01).

Tabela 01 - Reações simplificadas responsáveis pela formação do smog fotoquímico.

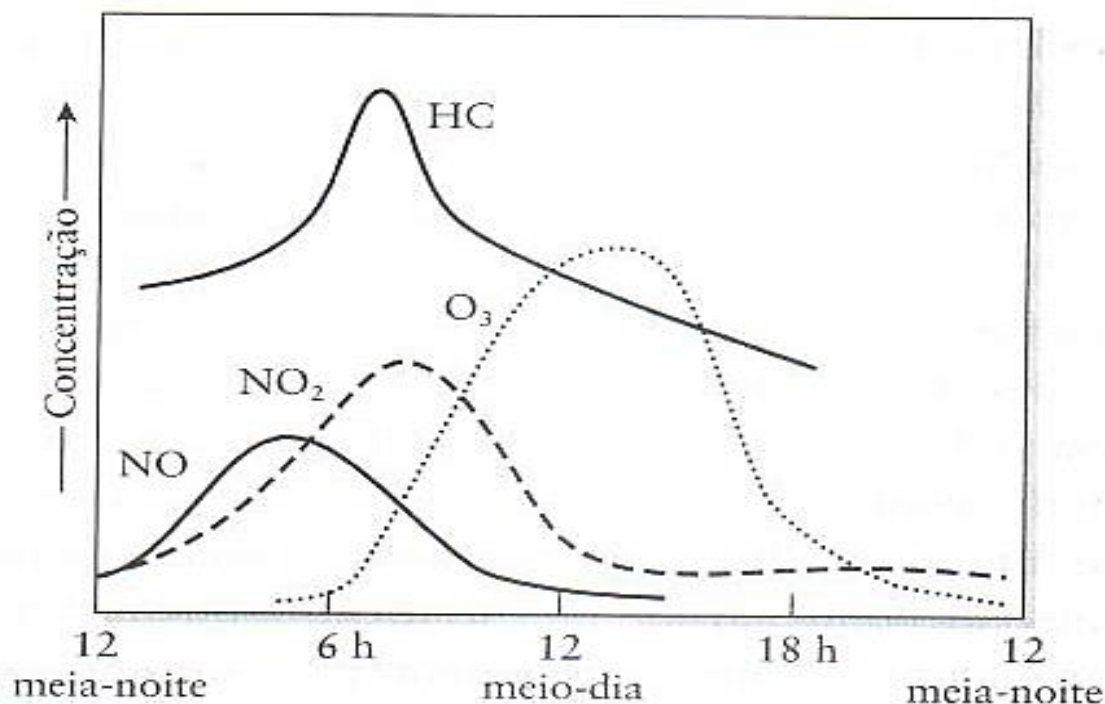
1- $\text{NO}_2$ + Luz	$\longrightarrow$	$\text{NO} + \text{O}$
2- $\text{O} + \text{O}_2$	$\longrightarrow$	$\text{O}_3$
3- $\text{NO} + \text{O}_3$	$\longrightarrow$	$\text{NO}_2 + \text{O}_2$
4- $\text{O} + \text{HC}$	$\longrightarrow$	$\text{HCO}^\circ$
5- $\text{HCO}^\circ + \text{O}_2$	$\longrightarrow$	$\text{HCO}_3^\circ$
6- $\text{HCO}_3^\circ + \text{HC}$	$\longrightarrow$	Aldeídos, cetonas etc.
7- $\text{HCO}_3^\circ + \text{NO}$	$\longrightarrow$	$\text{HCO}_2^\circ + \text{NO}_2$
8- $\text{HCO}_3^\circ + \text{O}_2$	$\longrightarrow$	$\text{O}_3 + \text{HCO}_2^\circ$
9- $\text{HCO}_x^\circ + \text{NO}_2$	$\longrightarrow$	Nitratos de peroxiacetil

Fonte: Vesilind; Morgan, 2011.

As reações envolvidas na névoa com fumaça fotoquímica permanecem um mistério por muitos anos. Particularmente confusa era a formação de altos níveis de ozônio. Como visto com as três primeiras reações, para cada mol de  $\text{NO}_2$  que reage para formar oxigênio atômico e, portanto, ozônio, um mol de  $\text{NO}_2$  foi criado a partir da reação com o ozônio. Todas essas reações são rápidas. As concentrações de ozônio podem chegar a níveis tão altos pois o NO entra em outras reações, especialmente com vários radicais de hidrocarboneto e, dessa forma, permite que o excesso de ozônio se acumule na atmosfera (a sétima reação). Além disso, alguns radicais de hidrocarboneto reagem com o oxigênio molecular e também produzem ozônio. (VESILIND; MORGAN, 2011, p. 287).

A figura 02 ilustra a variação de alguns componentes responsáveis pela formação do ozônio ao longo do dia.

Figura 02 - Formação de névoa fotoquímica durante um período de 24 horas.



Fonte: Vesilind; Morgan, 2011.

Verifica-se que no início da manhã os níveis de NO aumentam, seguido rapidamente por NO<sub>2</sub> que reage com luz solar formando O<sub>3</sub> e outros oxidantes; os níveis de hidrocarbonetos aumentam de forma semelhante durante no início do dia e diminuem durante a noite (VESILIND; MORGAN, 2011).

As implicações diretas da radiação solar na qualidade do ar dizem respeito à indução desta na formação de oxidantes atmosféricos como poluentes secundários. O ozônio, que é formado na atmosfera por reações fotoquímicas que dependem da intensidade da radiação solar apresenta uma distribuição de episódios ao longo dos meses totalmente distinta dos poluentes primários. A menor frequência de episódios na Região Metropolitana de São Paulo ocorre nos meses de maio a julho, época de menores temperaturas e radiação solar. A partir de agosto, com o aumento da temperatura e da radiação, a frequência de episódios de ozônio aumenta. De janeiro a abril, embora as temperaturas sejam elevadas, não se observa um número tão grande de ultrapassagens de padrão da qualidade do ar quanto no período de agosto a dezembro, o que pode ser justificado pelo aumento da nebulosidade no decorrer do dia, que reduz a radiação incidente nos baixos níveis da atmosfera, e pelo aumento da precipitação que "limpa" a atmosfera (DAMILANO, 2006).

Outros fatores que interferem na dispersão deste poluente é o vento. As meteorologistas identificam muitos tipos de ventos, que variam desde o vento global causados por resfriamento e aquecimento diferencial da Terra. Os ventos não

somente movimentam os poluentes horizontais, mas fazem com que os poluentes se dispersem, reduzindo sua concentração conforme o afastamento da fonte. A dispersão está relacionada à estabilidade do ar ou quantidade do ar em movimento vertical (MORGAM; VESILIND, 2011).

## 2.4 FONTES DE EMISSÕES DE GASES PRECURSORES DE OZÔNIO

No mundo contemporâneo as grandes fontes de energia ocorrem pelo processo de combustão, que é utilizado para produção de alimento, transporte de veículos, preparo de terrenos para agricultura, gerando emissão de composto para a atmosfera (ROCHA, ROSA e CARDOSO, 2004).

Para alimentar a atmosfera com compostos e partículas são necessárias fontes diversas. Tais fontes podem ser naturais e antrópicas. As naturais existem na natureza desde que o mundo foi formado, como os (vulcões) e a superfície do mar. As antrópicas são aquelas que a humanidade criou, como, por exemplo, uma chaminé. A fonte pode ser ainda considerada pontual, quando existe um ponto localizado onde ocorre a emissão, ou difusa, quando a emissão está espalhada em uma grande área. A emissão de uma chaminé é pontual, e a de compostos pela superfície do mar, difusa. A fonte pode ser móvel, como a chaminé de um navio, ou estacionária, como uma chaminé de uma fábrica (ROCHA, ROSA E CARDOSO, 2004, p.69).

A tabela 02 exemplifica o parágrafo anterior detalhando os tipos de fontes e os poluentes gerados.

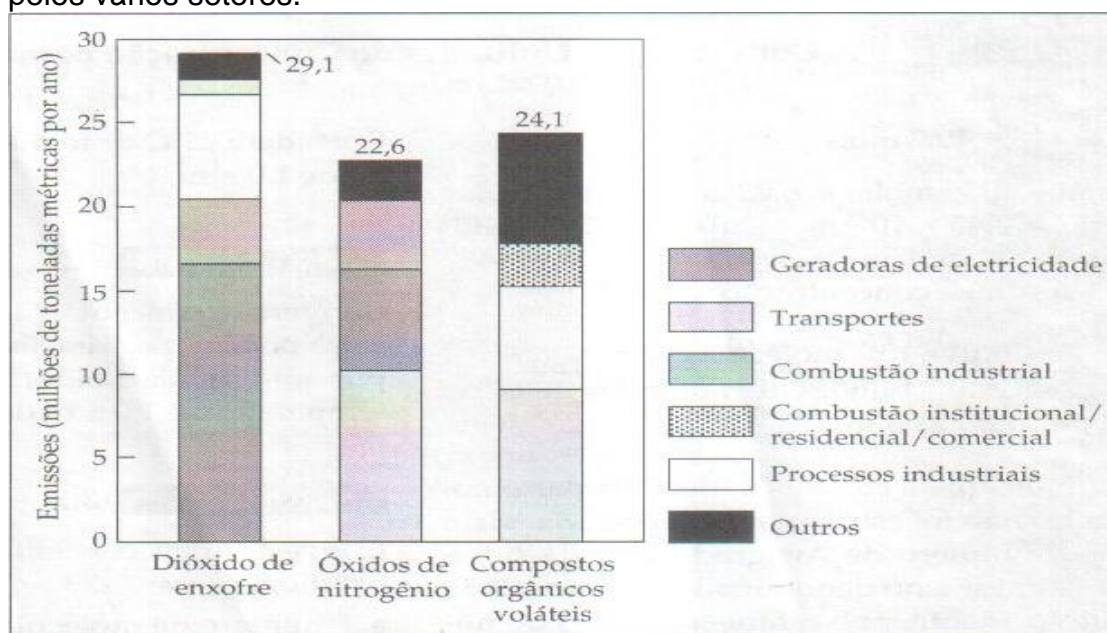
Tabela 02 - Tipos de fontes de emissão de poluentes atmosféricos.

Fontes		Tipos de Fontes	Poluentes
ANTROPOGÊNICAS	FIXAS	Processos Industriais	MP, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, HC
		Caldeiras, Fornos e Aquecedores	MP, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, HC
		Construção Civil	MP
		Queima ao Ar Livre e Queimado	MP, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, HC, Fumaça
		Exploração, Beneficiamento, Movimentação e Estocagem de Materiais Fragmentados	MP
	MOVEIS	<b>Tipo de Veículo/Fonte</b>	<b>Tipos de Combustíveis</b>
		Avião	Gasolina de aviação e/ou querosene
		Navios e Barcos	Diesel/ Óleo Combustível
		Caminhão e Ônibus	Diesel
		Automóveis e Motocicletas	Gasolina / Álcool
NATURAIS	<b>Tipos de Fontes</b>		
	Oceânos		MP
	Decomposição Biológica		Sox, H <sub>2</sub> S, HC, Compostos de Enxofre
	Praias e Dunas		MP
	Queimadas		MP, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, HC
	Erosão Eólica do Solo e Superfícies		MP

Fontes: MAIOLI, NASCIMENTO 2005.

A figura 03 mostra um resumo das emissões de poluentes primários, como o monóxido de nitrogênio, dióxido de enxofre e COVs, derivados de várias fontes nos Estados Unidos e no Canadá (BAIRD, 2002).

Figura 03 - Emissões combinadas de poluentes do ar nos Estados Unidos e Canadá pelos vários setores.



Fonte: Baird, 2002.

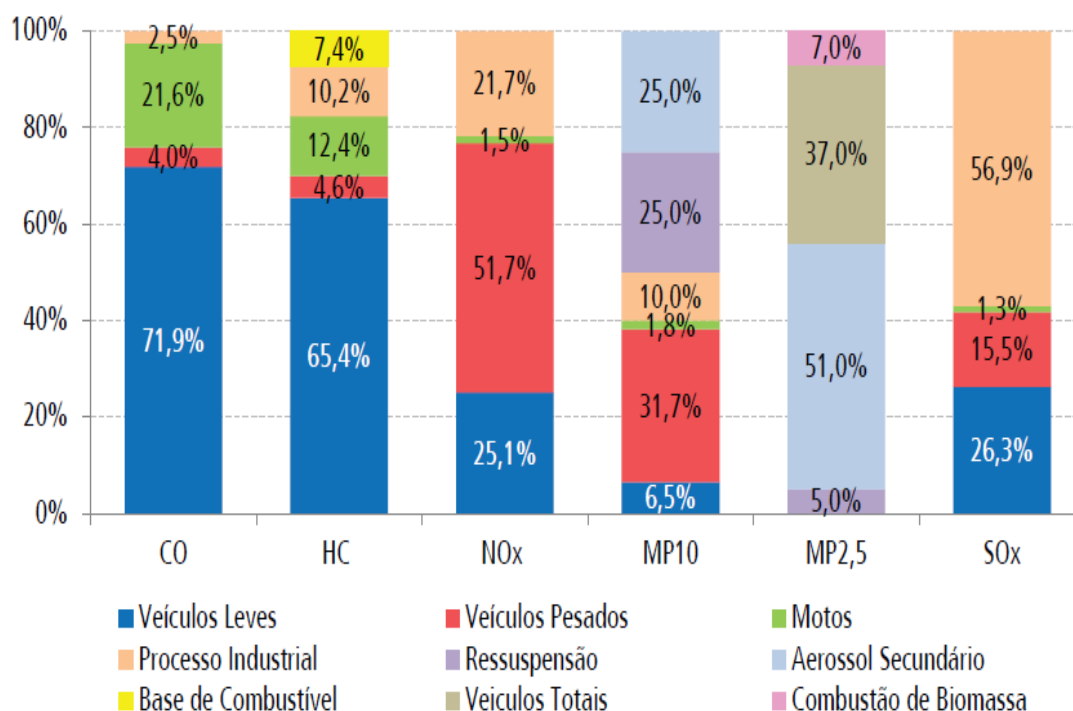
Dos principais poluentes atmosféricos lançados pelos veículos motorizados, a concentração de dois deles, na atmosfera da RMSP no ano de 2005, foi fortemente influenciada pela circulação de veículos pesados a diesel – MP e NOx – enquanto as concentrações de monóxido de carbono e dos hidrocarbonetos foram afetadas principalmente pelos veículos de ciclo Otto (automóveis e motocicletas). Os óxidos de enxofre tiveram como fontes importantes as emissões de automóveis e veículos a diesel, mas o principal agente emissor foi o setor industrial com cerca de 60% das emissões totais. Os sistemas com propulsão elétrica, como os trólebus, os metrô e os trens urbanos não emitem esses tipos de poluentes locais (CARVALHO, 2011, p.22).

Uma pesquisa realizada, com uma amostra de 500 mil pessoas, por pesquisadores da Universidade de Berkley [...], mostra que em regiões com alta concentração de O<sub>3</sub> na troposfera, 7 formadas pelos elementos chamados precursores do ozônio, principalmente os óxidos nitrosos (NOx) e hidrocarbonetos liberados na queima dos combustíveis fósseis, a probabilidade de uma pessoa morrer por problemas respiratórios aumentam em 30%, e a cada 10 pontos percentuais de aumento na concentração de ozônio este índice aumenta em 4%. Segundo a pesquisa, são quase 8 milhões de mortes por ano por causas respiratórias no mundo (JERRETT et al., 2009 apud CARVALHO, 2011, p. 20).

A qualidade do ar é diretamente influenciada pela distribuição e intensidade das emissões de poluentes atmosféricos de origem veicular e industrial. Por falta de inventário de emissões de outras regiões, os dados foram coletados da cidade de São Paulo conforme a figura 04. As emissões veiculares desempenham

um papel de destaque nos níveis de poluição do ar dos grandes centros urbanos (CETESB, 2014).

Figura 04 - Emissões relativas por tipos de fonte.



Fonte: CETESB, 2014.

## 2.5 LEGISLAÇÃO VIGENTE DE QUALIDADE DO AR

Para ter um controle de poluição do ar, foram criadas legislações com padrões de qualidade do ar com o objetivo de evitar danos à saúde, bem estar e a segurança da população, bem como ocasionar danos à flora e fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Na sequência são apresentadas as principais legislações estaduais e nacionais que tratam deste tema.

### 2.5.1 Resolução CONAMA nº 005 de 1989

A resolução CONAMA nº 005 de 15 de junho de 1989, dispõe sobre Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR (BRASIL, 1989).

Uma das estratégias desta resolução é adotar padrões de qualidade do ar, estabelecidos como padrões primários e secundários (BRASIL, 1989).



- a) São padrões primários de qualidade do ar as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população, podendo ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo.
- b) São padrões secundários de qualidade do ar, as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e flora aos materiais e meio ambiente em geral, podendo ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo. (BRASIL, 1989, p.2).

Com o tamanho de todo o território nacional e diversas atividades, foi necessário criar um enquadramento para suas áreas conforme os níveis de poluição, sendo enquadrado de acordo com a classificação de usos pretendidos.

Classe I: Áreas de preservação, lazer e turismo, tais como Parques Nacionais e Estaduais, Reservas e Estações Ecológicas, Estâncias Hidrominerais e Hidrotermais. Nestas áreas deverá ser mantida a qualidade do ar em nível o mais próximo possível do verificado sem a intervenção antropogênica;  
Classe II: Áreas onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão secundário de qualidade;  
Classe III: Áreas de desenvolvimento onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão primário de qualidade (BRASIL, 1989, p.2).

Além disto, umas das estratégias desta resolução é a criação de uma rede nacional de monitoramento de qualidade do ar, que pretendia proporcionar o acompanhamento da qualidade do ar no país e controlar as ações estabelecidas pelo PRONAR (BRASIL, 1989).

### **2.5.2 Resolução CONAMA nº 003 de 1990**

A Resolução CONAMA nº 003 de 28 de Junho de 1990 dispõem de padrões de qualidade do ar, ilustrados na tabela 03, com o respectivo tempo de amostragem.

Tabela 03 - Padrões de qualidade do ar da resolução CONAMA nº. 003 de 1990.

Parâmetro	Tempo de Amostragem	Padrão Primário ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Padrão Secundário ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Níveis de Atenção ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Níveis de Alerta ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Níveis de Emergência ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
<b>Partículas totais em suspensão</b>	24 horas <sup>1</sup>	240	150	375	625	875
	MGA <sup>2</sup>	80	60	-	-	-
<b>Fumaça</b>	24 horas <sup>1</sup>	150	100	250	420	500
	MAA <sup>3</sup>	60	40	-	-	-
<b>Partículas inaláveis</b>	24 horas <sup>1</sup>	150	150	250	420	500
	MAA <sup>3</sup>	50	50	-	-	-
<b>Dióxido de enxofre</b>	24 horas <sup>1</sup>	365	100	800	1600	2100
	MAA <sup>3</sup>	80	40	-	-	-
<b>Monóxido de carbono</b>	1 hora <sup>1</sup>	40.000 (35 ppm)	40.000 (35 ppm)	-	-	-
	8 horas <sup>1</sup>	10.000 (9 ppm)	10.000 (9 ppm)	17000	34000	46000
<b>Dióxido de nitrogênio</b>	1 hora	320	190	1130	2260	3000
	MAA <sup>3</sup>	100	100	-	-	-
<b>Ozônio</b>	1 hora <sup>1</sup>	160	160	400	800	1000

Fonte: Brasil, 1990.

1-Não deve ser excedida mais de uma vez por ano

2-Média Geométrica Anual

3-Média Aritmética Anual

Os padrões de qualidade do ar estabelecido nessa resolução são divididos em dois grupos:

- I - Padrões Primários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população.
- II - Padrões Secundários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral (BRASIL, 1990, p.1).

Visando providências aos governos de estado e dos municípios, foram estabelecidos o Plano de Emergência para Episódios Críticos de Poluição do Ar. Esses episódios é a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, levando em consideração as condições meteorológicas, ficando estabelecidos os Níveis de Atenção, Alerta e Emergência (BRASIL, 1990).

### **2.5.3 Decreto Estadual Paulista nº 59113 de 23/04/2013**

O decreto estadual nº 59.113/2013 estabelece a qualidade do ar no território do Estado de São Paulo, não sendo aplicável ao estado onde o empreendimento alvo deste estudo está instalado, porém pode ser utilizado como valores de referência, já que apresenta limites de tempo de amostragem diferente para ozônio e também disponibiliza do índice de qualidade do ar.

O decreto 59.113, de 23/04/2013, estabelece novos padrões de qualidade do ar em relação a classificação de uma sub-região e suas categorias (MI1, MI2, MI3 e PF). As Metas Intermediárias (MI) são estabelecidas como valores temporários a serem cumpridos em etapas, visando à melhoria gradativa da qualidade do ar; os Padrões Finais (PF) são determinados pelo melhor conhecimento científico para a preservação máxima da saúde da população em relação aos danos causados pela poluição atmosférica (CETESB, 2013).

Os poluentes e seus novos padrões de qualidade do ar estão dispostos na tabela 04, assim como seus respectivos tempos de amostragens. Os valores de padrões vigentes estão sublinhados na tabela (CETESB, 2013).

O decreto 59.113 de 23/04/2013 também estabelece critérios para episódios agudos de poluição do ar. Os critérios levam em consideração as concentrações ultrapassadas e também as condições meteorológicas desfavoráveis de dispersão, podendo ser classificados como Atenção, Alerta e Emergência, conforme a tabela 05 (CETESB, 2013).

Tabela 04 - Padrões de qualidade do ar do Decreto Paulista nº 59.113/2013.

Poluente	Tempo de Amostragem	MI1 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MI2 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MI3 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PF ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
<b>Partículas totais em suspensão* (PTS)</b>	24 horas MGA <sub>2</sub>	- -	- -	- -	<u>240</u> 80
<b>Partículas inaláveis (MP<sub>10</sub>)</b>	24 horas MAA <sub>1</sub>	<u>120</u> 40	100 35	75 30	50 20
<b>Partículas inaláveis finas (MP<sub>2,5</sub>)</b>	24 horas MAA <sub>1</sub>	<u>60</u> 20	50 17	37 15	25 10
<b>Dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>)</b>	24 horas MAA <sub>1</sub>	<u>60</u> 40	40 30	30 20	20 -
<b>Dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>)</b>	1 hora MAA <sub>1</sub>	<u>260</u> 60	240 50	220 45	200 40
<b>Ozônio (O<sub>3</sub>)</b>	8 horas	<u>140</u>	130	120	100
<b>Monóxido de carbono (CO)</b>	8 horas	-	-	-	<u>9 ppm</u>
<b>Fumaça* (FMC)</b>	24 horas MAA <sub>1</sub>	<u>120</u> 40	100 35	75 30	50 20
<b>Chumbo** (Pb)</b>	MAA <sub>1</sub>	-	-	-	0,5

Fonte: CETESB, 2013.

1 – Média aritmética anual.

2 – Média geométrica anual.

\* Fumaça e Partículas Totais em Suspensão – parâmetros auxiliares a serem utilizados apenas em situações específicas, a critério da CETESB.

\*\* Chumbo – a ser monitorado apenas em áreas específicas, a critério da CETESB.

Tabela 05 - Critérios para episódios agudos de poluição do ar conforme Decreto Paulista nº. 59.113/2013.

Parâmetros	Atenção	Alerta	Emergência
<b>Partículas inaláveis finas (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) – 24h</b>	125	210	250
<b>Partículas inaláveis (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) – 24h</b>	250	420	500
<b>Dióxido de enxofre (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) – 24h</b>	800	1.600	2.100
<b>Dióxido de nitrogênio (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) – 1h</b>	1.130	2.260	3.000
<b>Monóxido de carbono (ppm) – 8h</b>	15	30	40
<b>Ozônio (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) – 8h</b>	200	400	600

Fonte: CETESB, 2013.

O decreto ainda disponibiliza o Índice de Qualidade do Ar e Saúde, utilizando uma ferramenta matemática para simplificar o processo de divulgação de dados qualidade do ar, conforme experiência desenvolvida nos EUA. A tabela 06 demonstra os parâmetros e estrutura do Índice de Qualidade do Ar sendo classificado como: Boa, Moderada, Ruim, Muito Ruim e Péssimo (CETESB, 2013).

Tabela 06 - Estrutura do índice de qualidade do ar do Decreto nº. 59.113/2013.

Qualidade	Índice	MP <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 24h	MP <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 24h	O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 8h	CO (ppm) 8h	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 1h	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 24h
<b>N1 – Boa</b>	0-40	0-50	0-25	0-100	0 - 9	0 – 200	0 – 20
<b>N2 – Moderada</b>	41-80	>50-100	>25-50	>100-130	>9-11	>200- 240	>20 -40
<b>N3 – Ruim</b>	81-120	>100-150	>50-75	>130-160	>11-13	>240 -320	>40 -365
<b>N4 – Muito Ruim</b>	121 -200	>150-250	>75-125	>160 -200	>13-15	>320 -1130	>365 -800
<b>N5 – Péssima</b>	>200	>250	>125	>200	>15	>1130	>800

Fonte: CETESB, 2013.

Quando a qualidade do ar é classificada como Boa, os valores-guia para exposição de curto prazo estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde, que são os respectivos Padrões Finais (PF) estabelecidos no DECRETO nº 59113/2013, estão sendo atendidos (CETESB, 2013, p.02).

Para divulgação, utiliza-se o índice mais elevado, embora a qualidade do ar de uma estação seja avaliada para todos os parâmetros monitorados, sua classificação é determinada pelo pior caso, sendo associada a efeitos à saúde (CETESB, 2013).

Cada poluente apresenta individualmente diferentes efeitos à saúde para população para faixas de concentrações distintas. Esses efeitos sobre a saúde requerem adotar medidas de prevenção a serem adotadas pela população afetada (CETESB, 2013).

## 2.6 MONITORAMENTO QUALIDADE DO AR

Monitoramento da qualidade do ar é uma das formas de avaliar a qualidade do ar de uma determinada cidade ou região. Além do cuidado com os métodos analíticos e equipamentos, de forma a produzir resultados precisos, leva-se em consideração também o número de estações de amostragem e frequência de amostragem (DERISIO, 2000).

Gomes (2001, p. 77) expõe os objetivos genéricos de uma rede de qualidade do ar:

- a) possibilitam o conhecimento da poluição e permitem fazer correlações com outras atividades humanas e com a saúde das populações e os trabalhadores envolvidos; b) verificar a obediência às normas de qualidade do ar; c) fornecem informações, para

trabalhos científicos e de desenvolvimento; d) permitir a gestão a médio e a longo prazo das regiões em causar e fazer a verificação da influência das decisões tomadas; e) intervir sobre as emissões; f) possibilitar um correto ordenamento do território.

A disposição geográfica dos pontos de monitoramento pode ser efetuada a diversos níveis, sendo classificadas como locais, regionais, nacionais, transnacionais e mundiais (GOMES, 2001).

As redes de monitoramento devem responder as três perguntas críticas – o quê, onde e quando – O quê: o poluente a ser medido numa amostragem de qualidade do ar e o meio usado para coletar a amostragem. Onde: localização da amostragem e como a amostragem de ar ocorre em um ponto ou em vários pontos. Quando: a amostragem ocorre numa dimensão temporal (SEWELL, 1978).

Segundo Lacava (2003), a escolha do tipo de metodologia a ser empregada para o monitoramento de qualidade do ar deve levar em consideração os recursos necessários para a aquisição, operação e manutenção dos equipamentos. Esses equipamentos podem ser divididos em quatro tipos: amostradores passivos; amostradores ativos; amostradores automáticos; sensores remotos.

Amostradores passivos: a amostragem é realizada em um período muito longo (semana ou um mês), demorando na quantificação dos dados. A amostra é obtida por difusão molecular, que utiliza um filtro como material absorvente, dependendo do poluente e fornece dados de só um poluente indo para o laboratório para ser analisado. Existem amostradores passivos desenvolvidos para maioria dos poluentes urbanos gasosos como:  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , COVS e  $\text{O}_3$ . As principais vantagens são o baixo custo e a sua simplicidade. Desvantagens é a baixa resolução temporal, não é possível comparar os níveis medidos com os padrões pois há um longo período de amostragem (LACAVA, 2003).

Amostradores ativos: o uso de amostradores ativos foi amplamente difundido e os dados obtidos por esse método permitiram a característica espacial da poluição em muitos países. Os mais utilizados são para medir  $\text{SO}_2$  e MP, embora tenha vários métodos para medir outros poluentes. Entretanto com os analisadores automáticos esse método está sendo mais utilizado para MP, com média 24 horas e tendo um custo de manutenção e reparos muito baixo (LACAVA, 2003).

Analísadores automáticos: esse tipo de equipamento fornece dados relativamente alta, normalmente média de 30 ou 60 minutos, utilizando princípios eletroópticos. A amostra de ar entra em uma câmara de reação ótica do gás medida diretamente ou por uma reação química. Um detector de luz produz um sinal elétrico que é proporcional a concentração do poluente que esta sendo medido (LACAVA, 2003).

Sensores remotos: desenvolvido mais recentemente, fornece informações de concentração de poluentes em pontos distantes do equipamento, por técnicas de espectroscopia. Os dados são obtidos pela integração ao longo de um caminho óptico, de uma fonte de luz e de receptor, podendo ser medidos concentrações verticais na atmosfera (LACAVA, 2003).

### 2.6.1 Método de amostragem NO<sub>x</sub> por quimiluminescência

O processo pela qual os produtos químicos reagem para produzir luz é chamado de quimiluminescência. Se as condições para uma reação particular são bem conhecidas e podem ser controladas em um instrumento analítico, a quimiluminescência pode ser usada de maneira sensível e seletiva para determinar a concentração dos componentes em uma reação. Algumas reações químicas bem conhecidas que envolvem quimiluminescência servem de base para métodos de análise troposférica e estratosférica ambiental. Uma das mais comuns é a detecção de monóxido de nitrogênio (NO) e de dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) (BAIRD, 2002, p. 118).

O método de produção de luz utiliza a reação em fase gasosa de NO com ozônio (O<sub>3</sub>):



No detector de NO ocorre essa reação em um pequeno reator sob condições controladas de pressão e temperatura. O NO<sub>2</sub><sup>\*</sup> gerado nessa reação retorna novamente ao estado padrão emitindo luz nas faixas vermelha e infravermelha do espectro:



A quantidade de luz produzida na reação é proporcional a concentração de NO, pois o reagente que se encontra em excesso na câmara é ozônio, que é fornecido a partir de um gerador de ozônio, com volumes típicos para as amostragem de 1000 centímetros cúbicos padrão por minuto (ccpm), havendo uma maior quantidade de O<sub>3</sub> que NO. A luz produzida é detectada pelo TFM (tubo fotomultiplicador) colocado na posição adjacente a câmara de reação, cujo o sinal é alimentado por um computador que trata os dados em um programa correlacionando a quantidade de luz produzida com a quantidade de reagente, tomando com base a relação entre a intensidade luminosa e a concentração de NO, a qual foi obtida na calibração (BAIRD, 2002).

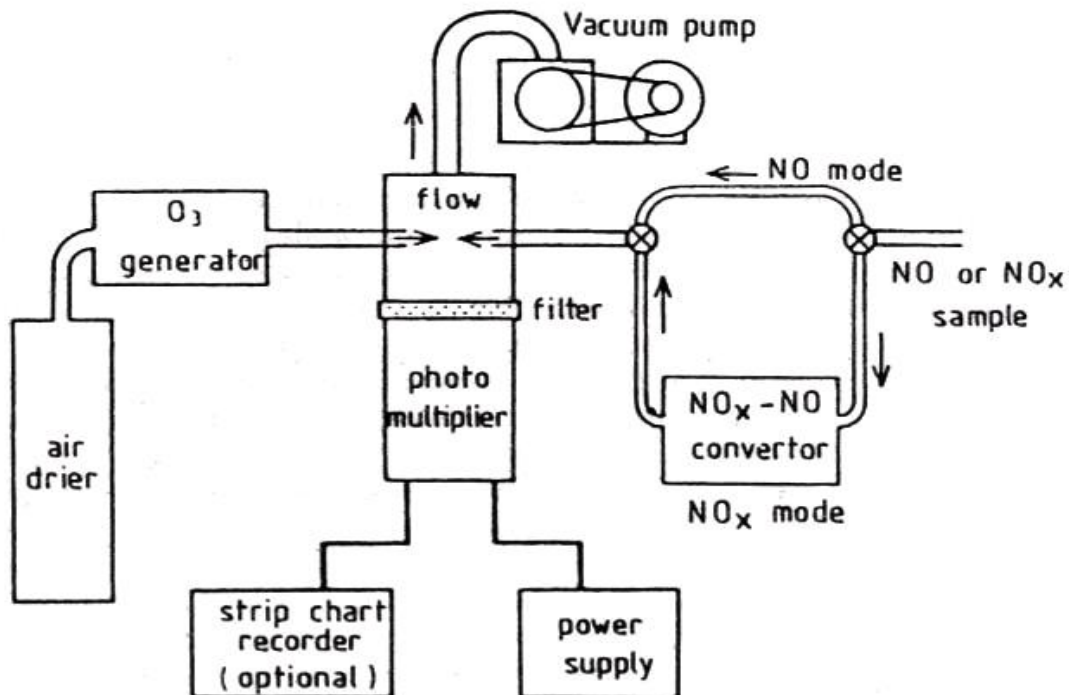
Esse mesmo instrumento pode ser utilizado para medir NO<sub>2</sub> incorporando-se uma etapa de redução química no ar de entrada, transformando NO<sub>2</sub> em NO por um catalisador metálico aquecido antes de entrar na câmara. O NO é determinado como anteriormente só que agora com quantidades que representam a presença de NO e NO<sub>2</sub> no ar. Os sinais alternados são gerados em um curto intervalo de tempo, com corrente de ar atmosférico que foi reduzido e outro sem redução, por meio de uma válvula comutáveis, podendo assim ser determinada os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) (BAIRD 2002).

No NO<sub>x</sub> o sinal é gerado pela corrente de ar reduzida mais o sinal da corrente de ar não reduzida. O NO é o sinal gerado pela corrente de ar não reduzida e o NO<sub>2</sub> é gerado pela subtração de NO<sub>x</sub> com o NO (BAIRD, 2002).

Holgate et al (1999) demonstra na figura 05 o esquema de funcionamento do analisador por método de quimiluminescência.



Figura 05 - Esquema de um analisador de quimiluminescência.



Fonte: HOLGATE et al, 1999.

## 2.6.2 Método de amostragem O<sub>3</sub> por fluorescência

Como o ozônio é um poluente secundário, uma vez que é formado devido a reações entre outros compostos presentes na atmosfera, o seu monitoramento é realizado com analisadores fluorescência, onde a propriedade do ozônio absorver o comprimento de onda de 254nm. As resoluções demonstram os padrões de concentração em médias de uma ou oito horas, que requer uma precisão rápida do equipamento e um monitoramento contínuo (DOURADO, 2005).

## 2.7 POLUIÇÃO ATMOSFERICA NA GERAÇÃO TERMOELÉTRICA

As usinas termoeletricas são responsáveis por produzir energia a partir da queima de óleo combustível, carvão e gás natural, ou pela ruptura de material radioativo. Importante em regiões com poucos recursos hidrográficos, mas com boa reserva desses materiais para que seja possível girar as pás das turbinas. Em função do grande potencial hídrico, o Brasil utiliza a energia termoeletrica de forma estratégica. Esse uso ocorre quando há diminuição de água, provocada pela carência de chuvas, nas represas que abastecem as usinas hidrelétricas (PINHO, 2014, p. 18).

Dos combustíveis citados no paragrafo anterior, o carvão se destaca como o principal combustível utilizado nas centrais termoelétricas no Brasil. Porém outros combustíveis começam ter uma demanda maior na matriz energética brasileira (DALLAROSA, 2005).

Os mecanismos de formação de poluentes atmosféricos estão ligados ao tipo de carvão que é utilizado, bem como as tecnologias de combustão, porém os principais poluentes emitidos são gases ( $\text{SO}_x$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{NO}_x$ ) e material particulado, ambos monitorados e comparados com a legislação vigente (DALLAROSA, 2005).

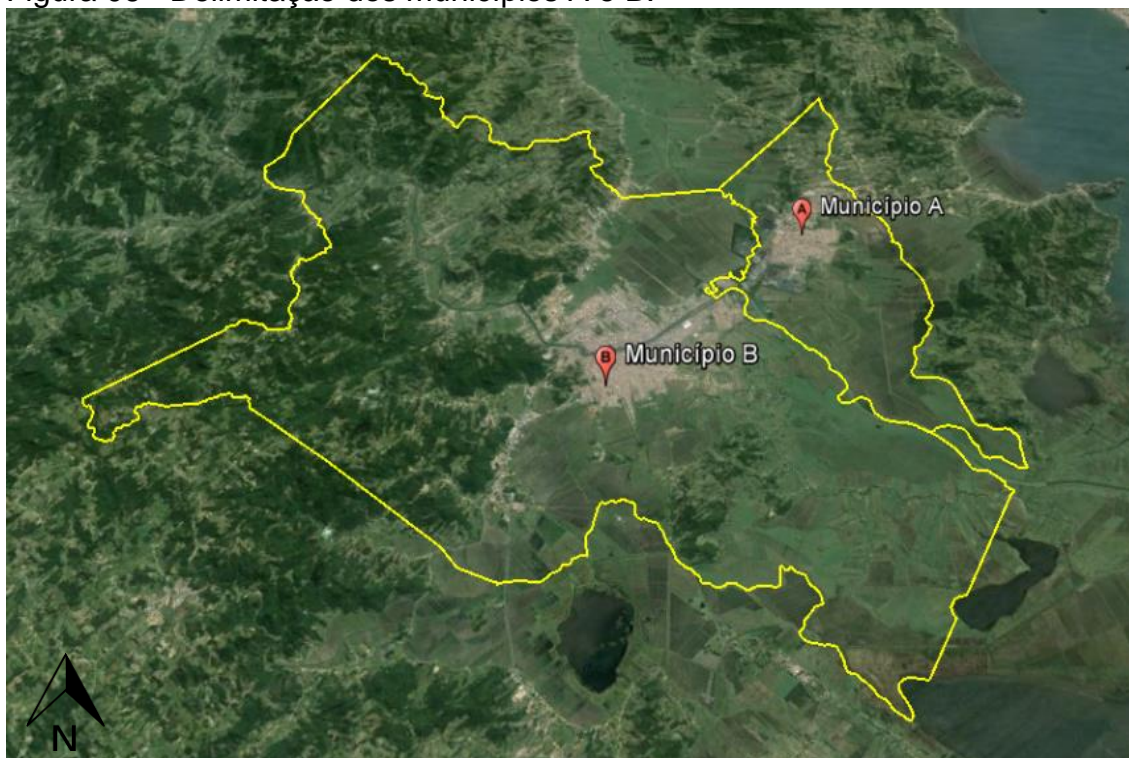
### 3 METODOLOGIA

Este TCC – Trabalho de Conclusão de Curso consistiu em uma pesquisa exploratória na forma de estudo de caso, visando proporcionar uma maior familiaridade com o problema, especificamente a poluição atmosférica causada pela formação do gás ozônio. Este tipo de pesquisa tem como objetivo principal o aprimoramento de ideias. Seu planejamento é bastante flexível, de modo que possibilita a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado (GIL, 2002).

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

O município A onde a termoeletrica está localizada tem uma área 53,16 km<sup>2</sup>. O município B, onde duas das três estações de monitoramento que serão avaliadas se encontram, tem área territorial de 300,3 km<sup>2</sup>. Como pode-se observar na figura 06, por serem municípios vizinhos, apresentam geografias similares, a pluviosidade média anual é de 1,493 mm, sendo o inverno com menor precipitação e verão com maior precipitação. O clima é subtropical, sendo janeiro o mês mais quente com média de 24°C e julho o mês mais frio, com médias de 15°C. A direção dos ventos predominantes é nordeste, com 14,9% de incidência, em seguida sudeste, com 12,4%. No verão os ventos sopram com mais constância e regularidade (IBGE, 2010).

Figura 06 - Delimitação dos municípios A e B.



Fonte: Google Earth, 2015.

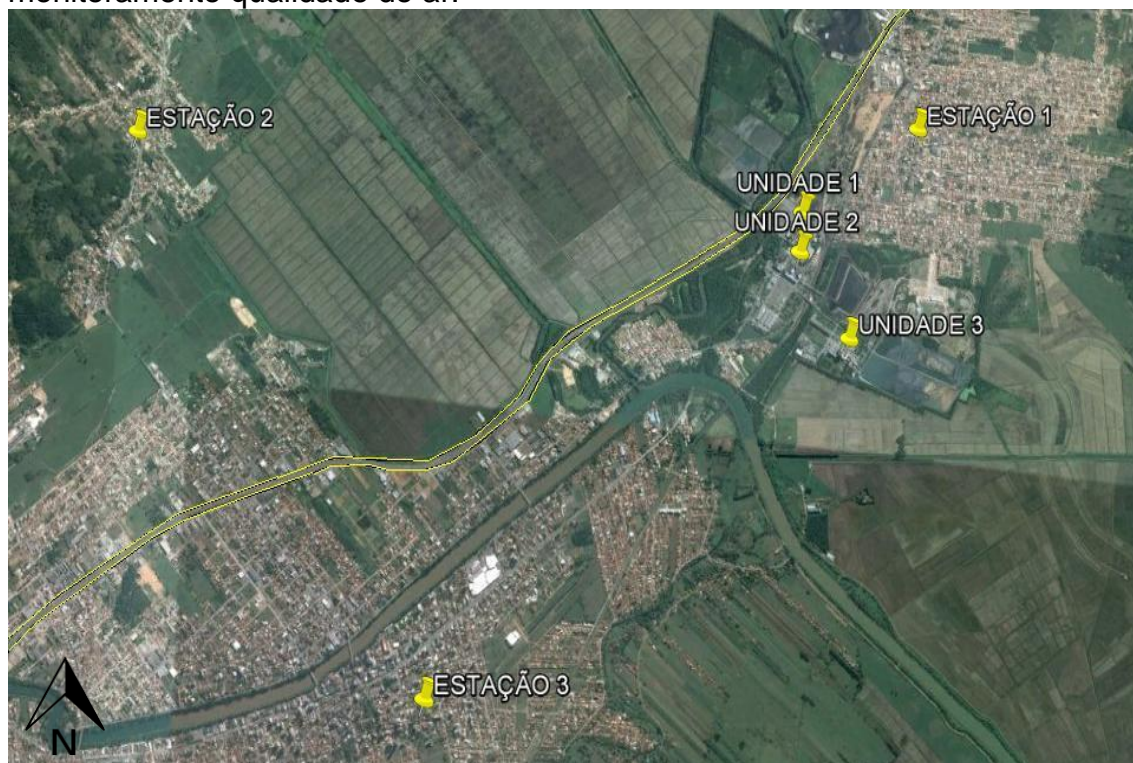
A termoeletrica em estudo é constituída por três unidades (Figura 07), composta no total por sete caldeiras, cujo combustível utilizado é o carvão mineral. O consumo de carvão mineral é de 280 mil toneladas/mês, vindo de mineradoras da região. O interior das paredes das caldeiras é revestido por tubos por onde passa a água desmineralizada. Através da queima de carvão ocorre a geração de calor que aquece a água dos tubos, transformando-a em vapor. A energia térmica do vapor se transforma em energia mecânica através do acionamento de uma turbina e, posteriormente, em energia elétrica através do acionamento de um gerador.

O processo de produção energia gera emissões atmosféricas. Os gases passam por precipitadores eletrostáticos que retêm a cinza em até 99% e posteriormente, são lançados na atmosfera por chaminés de 100 m; 150 m e 200 m. Nestas estruturas estão acoplados equipamentos de monitoramento contínuo de material particulado. Além disto, são realizadas medições semestrais dos demais poluentes atmosféricos, conforme determinado pelo órgão ambiental nas condicionantes da licença de operação.

A empresa dispõe de três estações automáticas de monitoramento de qualidade do ar (Figura 07), que estão localizadas em pontos estratégicos nos arredores da termoeletrica definidas no momento de sua instalação através de

resultados de análises por modelagem matemática. O monitoramento contínuo de ozônio iniciado em março 2013 para cumprir as condicionantes da licença ambiental da termoeletrica, entretanto os dados começaram a ser válidos a partir de 01 de abril de 2013.

Figura 07 - Termoeletrica em estudo suas três unidades e três estações de monitoramento qualidade do ar.



BR101  
Fonte: Google Earth, 2015.

As Estações de Monitoramento Qualidade do Ar foram distribuídas considerando os resultados de modelagens atmosféricas realizadas, as quais avaliaram diversos parâmetros, como por exemplo, a direção, velocidade do vento e relevo. A Estação Monitoramento Qualidade do Ar 1 esta localizada no município A, suas instalações são bem preservadas constituindo por uma área cercada, sua localização é no centro da cidade e com residências no entorno, conforme a figura 08. Nessa estação monitoram-se  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}$  e material particulado  $\text{MP}_{10}$ . A contribuição da termoeletrica na estação ocorre com direção do vento SSW (Sul Sudoeste). A equidistância da termoeletrica é 1,5 km.



Figura 08 - Estação Monitoramento Qualidade do Ar 1.



Fonte: Do autor, 2015.

A Estação Monitoramento Qualidade do Ar 2 e Estação Monitoramento Qualidade do Ar 3 estão instaladas no município B. A Estação Monitoramento Qualidade do Ar 2 a distância de 6 km da termoeletrica, em uma área afastada da cidade em local alto, porém fica em uma rodovia com fluxo intenso de veículos, que interliga cidades do interior, conforme figura 09. Essa estação monitora os parâmetros de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}$  e material particulado  $\text{MP}_{10}$ . A contribuição da termoeletrica na estação é com direção do vento ESE (Leste Sudeste).

Figura 09 - Estação Monitoramento Qualidade do Ar 2.



Fonte: Do autor, 2015.

A Estação Monitoramento Qualidade do Ar 3 está localizada a distância de 3,6 km da termoeletrica, no centro da cidade próximo a câmara de vereadores, com vários prédios e residências ao seu entorno (Figura 10). O fluxo de veículos é intenso, mas observa-se que esse fluxo é maior no horário comercial da 08h até 18h. Nessa estação monitoram-se  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CO}$  material particulado  $\text{MP}_{10}$  e  $\text{MP}_{2,5}$ . A contribuição da termoeletrica na estação é com direção do vento NE (Nordeste).

Figura 10 - Estação Monitoramento Qualidade do Ar 3.



Fonte: Do autor, 2015.

### 3.2 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

A coleta de dados para a avaliação das concentrações de ozônio e dióxido de nitrogênio foi realizada nas Estações de Monitoramento Qualidade do Ar, com intuito de avaliar a contribuição das diferentes fontes de emissão de poluentes na qualidade do ar dos municípios estudados.

Para a realização desse estudo utilizou-se dados das concentrações das três Estações de Monitoramento Qualidade do Ar, sendo coletados os dados de ozônio pelo método fluorescência na Estação de Monitoramento Qualidade do Ar 3 e dióxido de nitrogênio pelo método quimiluminescência na Estações de Monitoramento Qualidade do Ar 1, 2 e 3. O período de avaliação das concentrações compreendeu um ano (março de 2013 a março de 2014), visando-se avaliar as diferentes sazonalidades no comportamento dos poluentes monitorados. A interpretação dos dados foi realizada por estação do ano, compreendendo:

- Outono: de 21 de março a 21 de junho;
- Inverno: de 21 de junho a 23 de setembro;



- Primavera: de 23 de setembro a 21 de dezembro;
- Verão: de 21 de dezembro a 21 de março.

No último ano, a Estação 3 que monitora Ozônio esteve em período de manutenção e calibração e a representatividade dos dados ficou prejudicada. A Legislação Federal, de Santa Catarina e São Paulo (utilizada como referência) não cita explicitamente o número mínimo de amostragens para redes de monitoramento automáticas da qualidade do ar. Como não se tem certeza da representatividade dos dados, optou-se em utilizar dados do ano de 2013 e 2014.

Os dados foram comparados com padrões primários, padrões secundários e níveis críticos (Nível de Atenção, Nível de Alerta e Nível de Emergência) da Resolução CONAMA nº 03 de 28 de junho de 1990. Também foram considerados os dados meteorológicos para visualizar as condições ambientais ao longo do período monitorado e avaliar as concentrações dos poluentes amostrados nas Estações de Monitoramento Qualidade do Ar nas respectivas estações do ano.

Os dados meteorológicos analisados foram radiação, precipitação, velocidade e direção dos ventos. Tais dados foram adquiridos no banco de dados disponível pela termoeletrônica, coletados em uma estação meteorológica automática localizada nas instalações do próprio empreendimento.

Todos os dados coletados foram tabulados e dispostos em gráficos e tabelas, facilitando o entendimento e análise dos dados.

### 3.3 AVALIAÇÃO DAS POSSÍVEIS ORIGENS DOS POLUENTES MONITORADOS

Visando avaliar as origens dos poluentes monitorados nas Estações de Monitoramento Qualidade do Ar, realizou-se levantamento da frota de veículos leves e veículos pesados, do município A e do município B, no ano de 2013, obtidos do site do DETRAN-SC, relacionando-se os veículos com a contribuição dos percursos do ozônio.

Além da frota veicular, avaliou-se a contribuição das emissões decorrentes da termoeletrônica. Considerando que na mesma não há monitoramento contínuo das emissões de compostos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), incluindo monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), analisou-se os resultados de monitoramento descontínuo. Além disto, realizou-se uma análise da relação da

geração de energia elétrica, em MW, por estação do ano.

Ambas as informações coletadas foram disponibilizadas pelo SIA (Sistema Informações Ambientais), um sistema de banco de dados da termoeletrica, onde estão armazenados dados das Estações de Monitoramento Qualidade do Ar, dados meteorológicos e dados de geração de energia.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados baseou-se na comparação das concentrações de ozônio e dióxido de nitrogênio coletadas nas estações de monitoramento qualidade do ar com a legislação vigente, verificando também o comportamento das concentrações em relação aos dados meteorológicos das quatro estações do ano de 2013 e 2014. Tais dados, juntamente com a correlação com a geração de energia e os dados de emissão de NO<sub>x</sub>, bem como o fluxo de veículos dos municípios A e B, são apresentados na sequência.

### 4.1 MONITORAMENTO DE DIÓXIDO DE NITROGÊNIO E OZÔNIO NA QUALIDADE DO AR

Conforme Baird (2002), os reagentes originais mais importantes nas ocorrências da formação do ozônio são os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e os hidrocarbonetos, emitidos para o ar por queima incompleta de motores de combustão e outras fontes. Outro fator que influencia na reação é a luz solar, que aumenta as concentrações de radicais livres que participam no processo químico.

Como a Estação Monitoramento da Qualidade do Ar 3 não monitora hidrocarbonetos, não foi possível à análise específica de resultados de monitoramento da qualidade do ar deste parâmetro. Entretanto, analisou-se e comparou-se as concentrações de dióxido de nitrogênio das três Estações Monitoramento da Qualidade do Ar e de ozônio na Estação Monitoramento da Qualidade do Ar 3.

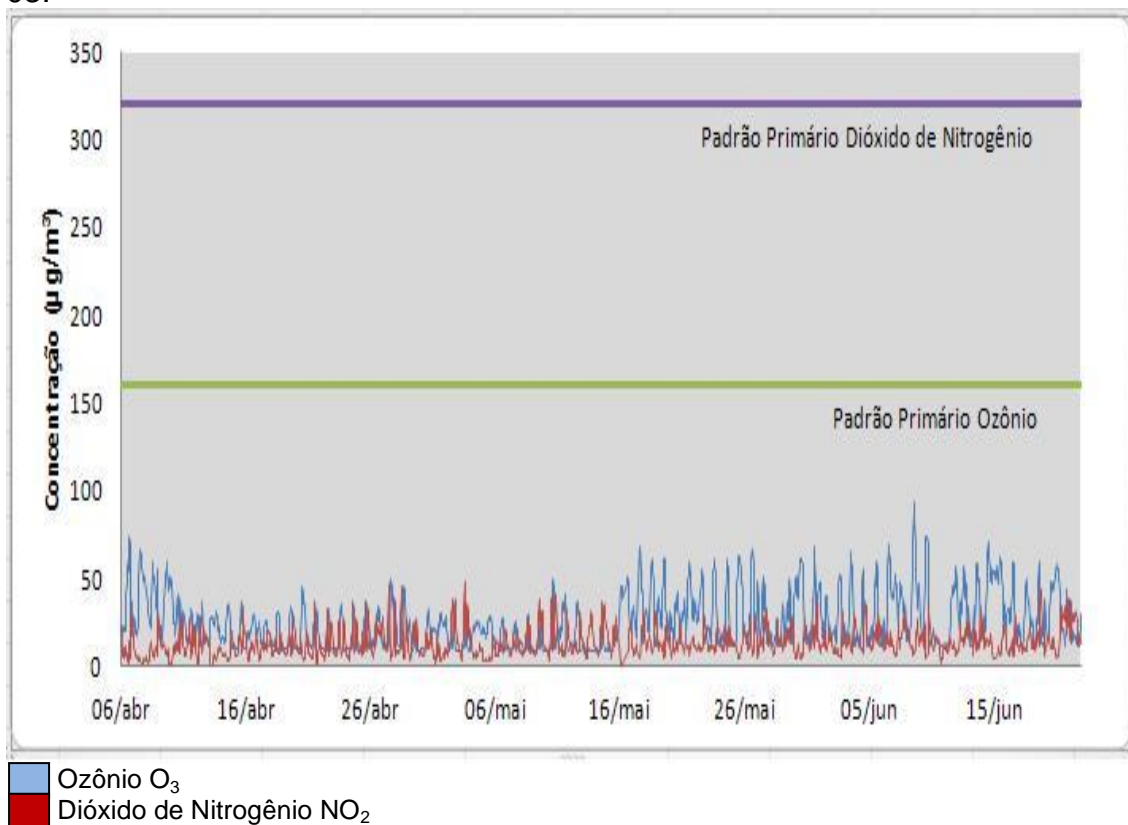
As concentrações foram distribuídas conforme as estações do ano – Outono, Inverno, Primavera e Verão – do período de 2013 a 2014. Os dados de concentração coletados foram comparados com a legislação vigente, avaliando-se as ultrapassagens dos padrões estipulados por leis, as condições da qualidade do ar, as condições meteorológicas e a possível influência das emissões atmosféricas oriundas da termoeletrônica na concentração destes poluentes no ar, considerando-se a geração de energia (MW) no período de estudo.

#### 4.1.1 Estação do ano – outono

Na estação do ano outono, o período de monitoramento compreendeu o intervalo de 21 de março a 21 de junho de 2013, sendo considerada a estação de transição entre inverno e verão.

Na sequência são apresentados os resultados dos monitoramentos da qualidade do ar durante os meses que compreendem a estação do ano. Como somente a Estação Monitoramento da Qualidade do Ar 3 monitora as concentrações de ozônio, utilizou-se essa estação para fazer uma avaliação das concentrações de ozônio com dióxido de nitrogênio, ilustrado na figura 11. Essas concentrações foram comparadas com a legislação vigente.

Figura 11 - Concentração de ozônio e dióxido de nitrogênio no Outono na estação 03.



Fonte: Adaptado do SIA pelo autor, 2015.

Comparando-se com a legislação, nenhum dos dois parâmetros ultrapassou o padrão primário. No começo de abril, onde se iniciaram os monitoramentos, as concentrações de ozônio tiveram alguns resultados elevados, reduzindo as concentrações até meados do mês de maio, onde ocorreram novas

elevações na concentração sendo a maior registrada no período monitorado, se mantendo assim até final da estação outono. As concentrações de dióxido de nitrogênio tiveram um comportamento nas suas concentrações oposto do que ocorreu com as concentrações de ozônio, isso pode ser explicado segundo Vesilind; Morgan, (2011), porque o  $\text{NO}_2$  reage com luz solar formando  $\text{O}_3$  e outros oxidantes.

As concentrações de ozônio tiveram máxima de  $93,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , média de  $25,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e mínima de  $8,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nenhum dos resultados obtidos de média horária ultrapassaram os limites do padrão primário ( $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), bem como não atingiram os níveis críticos de qualidade do ar (nível de atenção, alerta e emergência). As concentrações de dióxido de nitrogênio tiveram máxima de  $48,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , média de  $13,51 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e mínima de  $0,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nenhum dos resultados obtidos de média horária ultrapassaram os limites de padrão primário ( $320 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), também não atingiram em nenhum episódio os níveis críticos de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 03 de 28 de junho de 1990.

Consideraram-se as condições meteorológicas da referida estação do ano ilustrada na tabela 07.

Tabela 07 - Condições meteorológicas do Outono.

	<b>Máxima</b>	<b>Média</b>
Radiação ( $\text{W}/\text{m}^2$ )	881	136,17
Precipitação (mm)	14,4	0,09

Fonte: Do autor, 2015.

Na estação de outono a precipitação foi menor em relação às outras estações do ano, tendo em média  $0,09 \text{ mm}$ , onde segundo Monteiro (2001), é um período em que os bloqueios atmosféricos são muito frequentes, impedindo a passagem das frentes sobre o Estado Santa Catarina. A estabilidade atmosférica persistente, ocasionada pela falta de passagens frontais e ainda a diminuição da convecção proporcionada pelo calor da tarde, resultam em períodos de tempo bom e sem ocorrência de chuva.

Essa estabilidade atmosférica interfere na formação do ozônio sendo o mais baixo das estações do ano com média  $25,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e contribuindo para a diminuição da radiação solar que teve média  $136,17 \text{ W}/\text{m}^2$ . Conforme Monteiro (2001), apesar da nebulosidade mais intensa passar sobre o oceano, associada à

frente fria, normalmente predominam nuvens. Esta cobertura de nuvens contribui para diminuir a insolação.

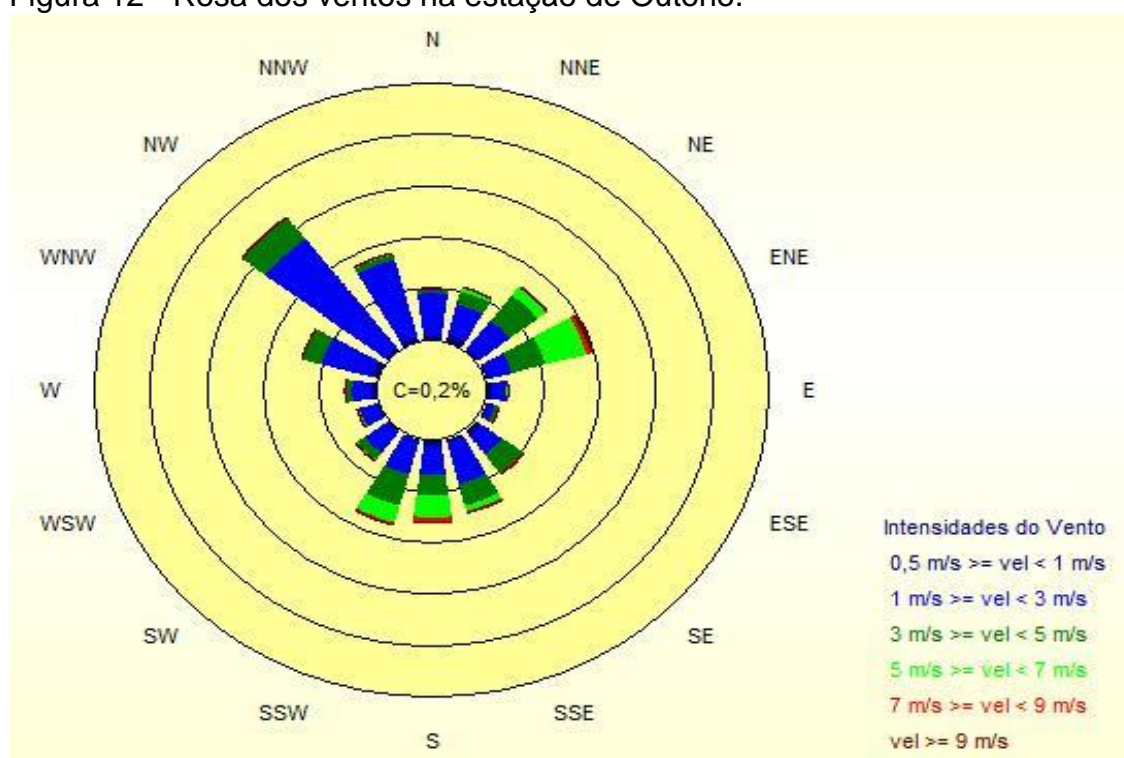
Além do monitoramento na estação 03, durante os meses de outono também foram monitoradas as concentrações de dióxido de nitrogênio nas duas demais estações de monitoramento da qualidade do ar da atividade. As concentrações máximas, médias e mínimas do período são apresentadas na tabela 08. Considerou também a figura 12, da rosa dos ventos.

Tabela 08 – Concentrações de dióxido de nitrogênio nas estações de monitoramento no Outono.

	Concentração ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	Máxima	Média	Mínima
<b>Estação 1</b>	55,7	12,87	0,21
<b>Estação 2</b>	60,9	10,90	0,005
<b>Estação 3</b>	48,12	13,51	0,25

Fonte: Do autor, 2015.

Figura 12 - Rosa dos ventos na estação de Outono.



Fonte: SIA, 2013

Considerando que os ventos predominantes foram noroeste (NW), para estação de outono, não há estação de monitoramento da qualidade do ar na direção noroeste (NW) da termoelétrica, não sendo possível avaliar a contribuição da fonte

nesta direção. Verificou-se que os ventos nordeste (NE) e sul sudoeste (SSW) também apresentam incidência significativa.

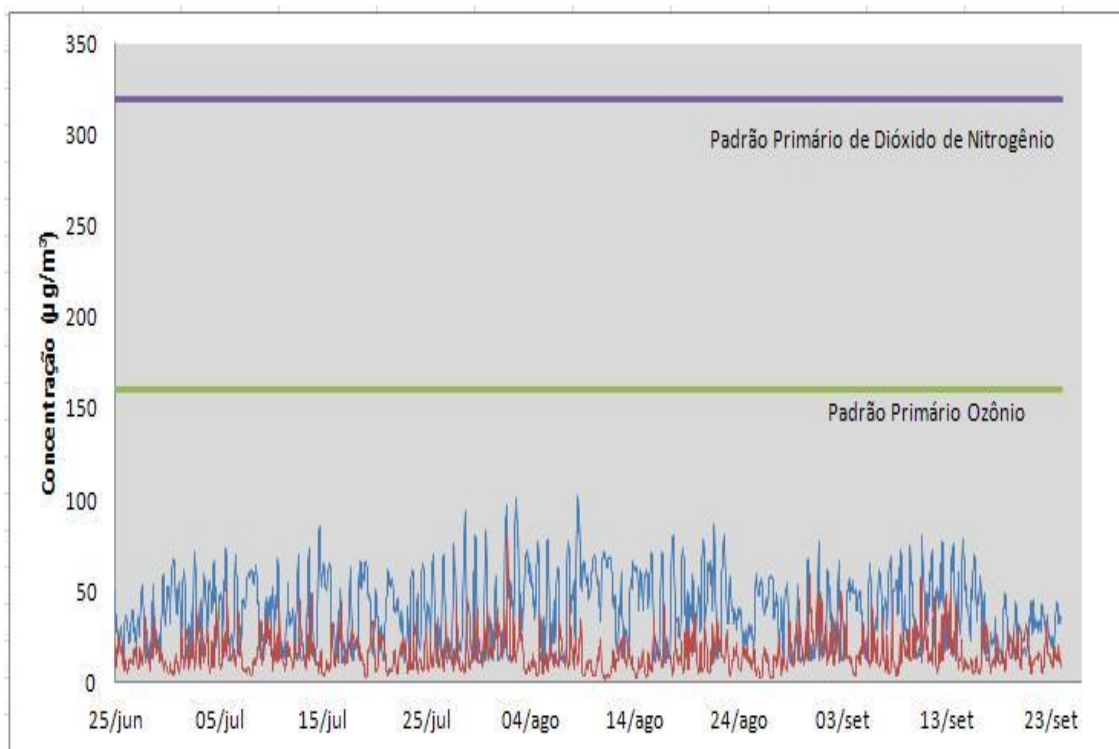
Na estação 3 a contribuição é de ventos nordeste (NE), que teve a maior média nas concentrações de dióxido de nitrogênio. Porém a máxima e a mínima concentração são na estação 2 que está localizada na direção leste sudeste (ESE) da termoeletrica. A segunda média da concentração está na estação 1 que está localizada sul sudoeste (SSW) da termoeletrica.

Conforme evidenciado nas concentrações das estações de qualidade do ar juntamente com a direção dos ventos, percebe-se que a atividade foco deste estudo pode ter contribuído para a concentração de poluente no local monitorado.

#### **4.1.2 Estação do ano – inverno**

O dia 21 de junho a 23 de setembro de 2013 define-se como a estação do ano inverno, conhecida como a estação mais fria do ano. Serão apresentados na figura 13 as concentrações de ozônio e dióxido de nitrogênio da Estação Monitoramento da Qualidade do Ar 3, avaliando-se o comportamento e comparado com a legislação vigente.

Figura 13 - Concentração de ozônio e dióxido de nitrogênio no Inverno na estação 03



■ Ozônio O<sub>3</sub>  
■ Dióxido de Nitrogênio NO<sub>2</sub>

Fonte: Adaptado do SIA pelo autor, 2015.

De todas as estações do ano que foram analisadas, o inverno apresentou as maiores concentrações de ozônio, porém no final da estação de inverno teve uma queda nas concentrações ozônio.

As concentrações de ozônio tiveram máxima de 102,38  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , média de 38,59  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e mínima de 10,42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nenhum dos resultados obtidos de média horária ultrapassaram os limites das médias diárias do padrão primário (160  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), bem como não atingiram os níveis críticos de qualidade do ar (nível de atenção, alerta e emergência). As concentrações de dióxido de nitrogênio tiveram máxima de 80,98  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , média de 16,23  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e mínima de 1,79  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Da mesma forma que o ozônio, nenhuns dos resultados obtidos de média horária ultrapassaram os limites do padrão primário (320  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e também não atingiram em nenhum episódio os níveis críticos de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 03 de 28 de junho de 1990.

Consideraram-se as condições meteorológicas da referida estação do ano ilustrada na tabela 09.



Tabela 09 - Condições meteorológicas do Inverno.

	<b>Máxima</b>	<b>Média</b>
<b>Radiação (W/m<sup>2</sup>)</b>	908	133,98
<b>Precipitação (mm)</b>	25,6	0,25

Fonte: Do autor, 2015.

O volume pluviométrico dessa estação teve média de 0,25 mm, segundo Monteiro (2001), na maioria dos municípios Catarinenses, a pluviometria é pouco superior ao do outono, embora haja regularidade na passagem da frente fria. Do Planalto ao Oeste, as chuvas são mais volumosas que em áreas próximas ao litoral.

Com os níveis pluviométricos elevados ocorrem baixos índices de insolação, para muitas regiões estão associados às constantes passagens frontais com suas respectivas áreas de nebulosidade e a posição da terra com relação ao sol neste período do ano (MONTEIRO, 2001).

Foi possível notar que nessa estação do ano a radiação média esteve em 133,98 W/m<sup>2</sup>, entretanto não interferiu na formação do ozônio que relatou a maior concentração média de 38,59 µg/m<sup>3</sup> na Estação Monitoramento da Qualidade do Ar 03. Essa alta concentração pode ter relação com o aumento da incidência dos fenômenos de inversão térmica, comuns no inverno.

Inversão térmica é um fenômeno que se intensifica durante o inverno, pois nessa época do ano, em virtude da perda de calor, o ar próximo à superfície fica mais frio que o da camada superior, influenciando diretamente na sua movimentação. O índice pluviométrico (chuvas) também é menor durante o inverno, fato que dificulta a dispersão dos gases poluentes (FRANCISCO, s.d.).

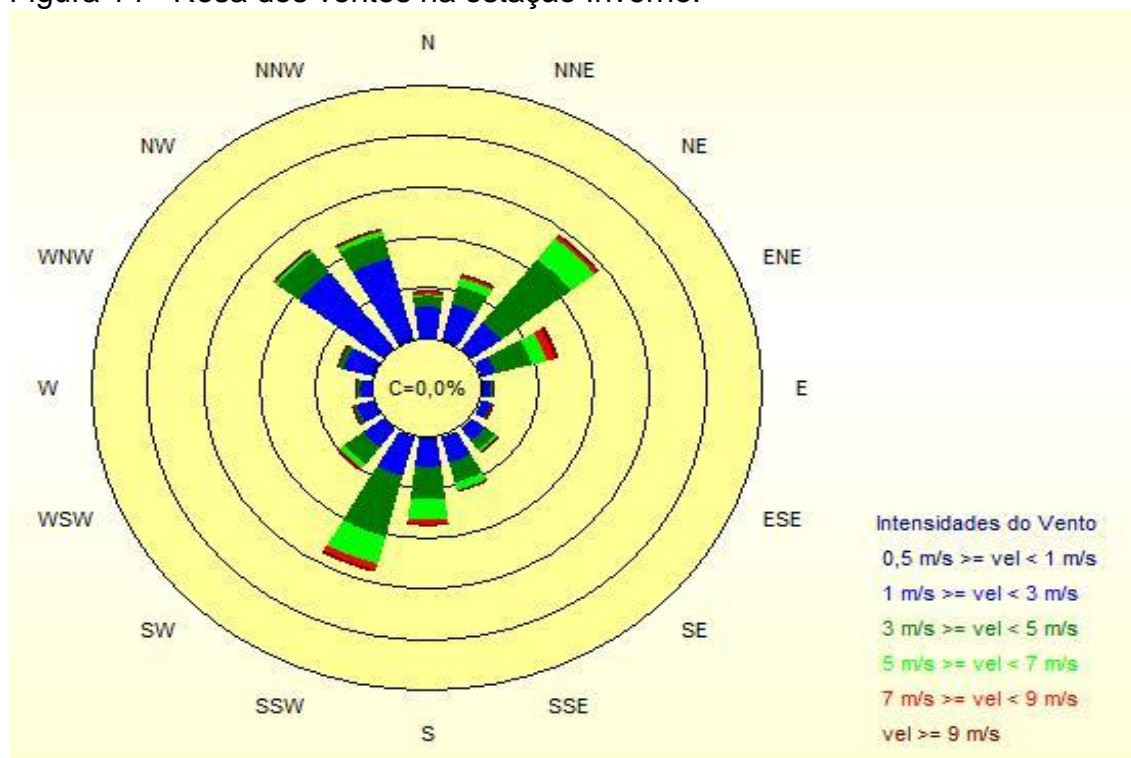
Foram levadas em consideração as concentrações de dióxido de nitrogênio das duas demais estações de monitoramento da qualidade do ar da atividade, além da Estação 03. São representadas na tabela 10 as concentrações máximas, médias e mínimas e a incidência dos ventos do período na figura 14.

Tabela 10 – Concentrações de dióxido de nitrogênio nas estações de monitoramento no Inverno.

	<b>Concentração (µg/m<sup>3</sup>)</b>		
	<b>Máxima</b>	<b>Média</b>	<b>Mínima</b>
<b>Estação 1</b>	60	12,70	0,004
<b>Estação 2</b>	69,18	10,92	0,005
<b>Estação 3</b>	80,98	16,23	1,79

Fonte: Do autor, 2015.

Figura 14 - Rosa dos ventos na estação Inverno.



Fonte: SIA, 2013

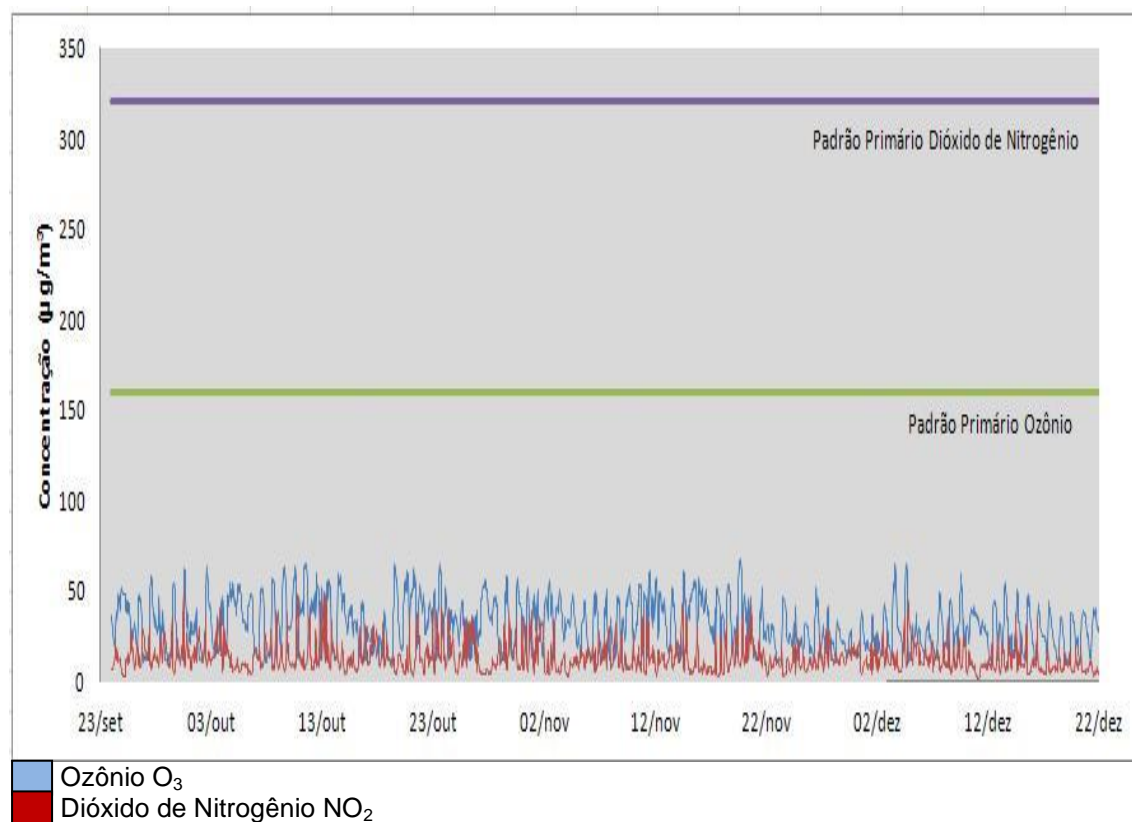
Considerando que os ventos predominantes foram nordeste (NE), para estação de inverno, a estação de monitoramento da qualidade do ar 3 esta na direção NE da termoeletrica, sendo possível avaliar a contribuição da fonte nesta direção, pois as máximas concentração e a média concentração estão nessa estação, além da estação 1 que teve a segunda média com direção dos ventos sul sudoeste (SSW) da termoeletrica. A mínima concentração esta a estação 2 com direção do vento leste sudeste (ESE) da termoeletrica, que teve uma direção e velocidade do vento muito baixa.

#### 4.1.3 Estação do ano – primavera

Na estação do ano primavera, o período de monitoramento compreendeu o intervalo de 23 de setembro a 21 de dezembro de 2013.

Os resultados das concentrações de ozônio e dióxido de nitrogênio monitorado neste período são expostos na figura 15, bem como os limites estabelecidos pela legislação vigente.

Figura 15 - Concentração de ozônio e dióxido de nitrogênio na Primavera na estação 03.



Fonte: Adaptado do SIA pelo autor, 2015.

Analisando a figura 15 as concentrações de dióxido de nitrogênio e ozônio não apresentaram muitas oscilações nos meses da estação primavera.

As concentrações de ozônio tiveram máxima de 67,39 µg/m³, média de 31,07 µg/m³ e mínima de 10,61 µg/m³. Nenhum dos resultados obtidos de média horaria ultrapassaram os limites das médias diárias do padrão primário (160 µg/m³), bem como não atingiram os níveis críticos de qualidade do ar (nível de atenção, alerta e emergência). As concentrações de dióxido de nitrogênio tiveram máxima de 49,91 µg/m³, média de 13,34 µg/m³ e mínima de 1,82 µg/m³. Nenhum dos resultados obtidos de média horaria ultrapassaram os limites do padrão primário (320 µg/m³) e também não atingiram em nenhum episódio os níveis críticos de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 03 de 28 de junho de 1990.

Para ter um embasamento nas concentrações das Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar considerou as condições meteorológicas da referida estação do ano ilustrada na tabela 11.

Tabela 11 - Condições meteorológicas da Primavera.

	<b>Máxima</b>	<b>Média</b>
<b>Radiação (W/m<sup>2</sup>)</b>	1145	245,90
<b>Precipitação (mm)</b>	24,4	0,18

Fonte: Do autor, 2015.

A média de precipitação esteve em 0,18 mm, conforme Monteiro (2001), a primavera apresenta tempo mais instável. Essa instabilidade é ocasionada principalmente pelos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), ocorrendo índice de precipitação elevado para alguns municípios Catarinenses.

Segundo Monteiro (2001), esse fenômeno CCM, reflete em menores horas de insolação. Analisando a tabela 11 a radiação teve média de 245,90 W/m<sup>2</sup>. Sendo o segundo valores mais altos durante todas as estações do ano.

Mesmo as médias das radiações se estabelecendo altas, as concentrações de ozônio que tiveram médias de 31,07µg/m<sup>3</sup>, poderiam ser superiores se a precipitação e a nebulosidade apresentassem valores menores. Sendo assim, as concentrações de ozônio tiveram valores significantes, sendo a segunda maior concentração nas estações do ano avaliadas.

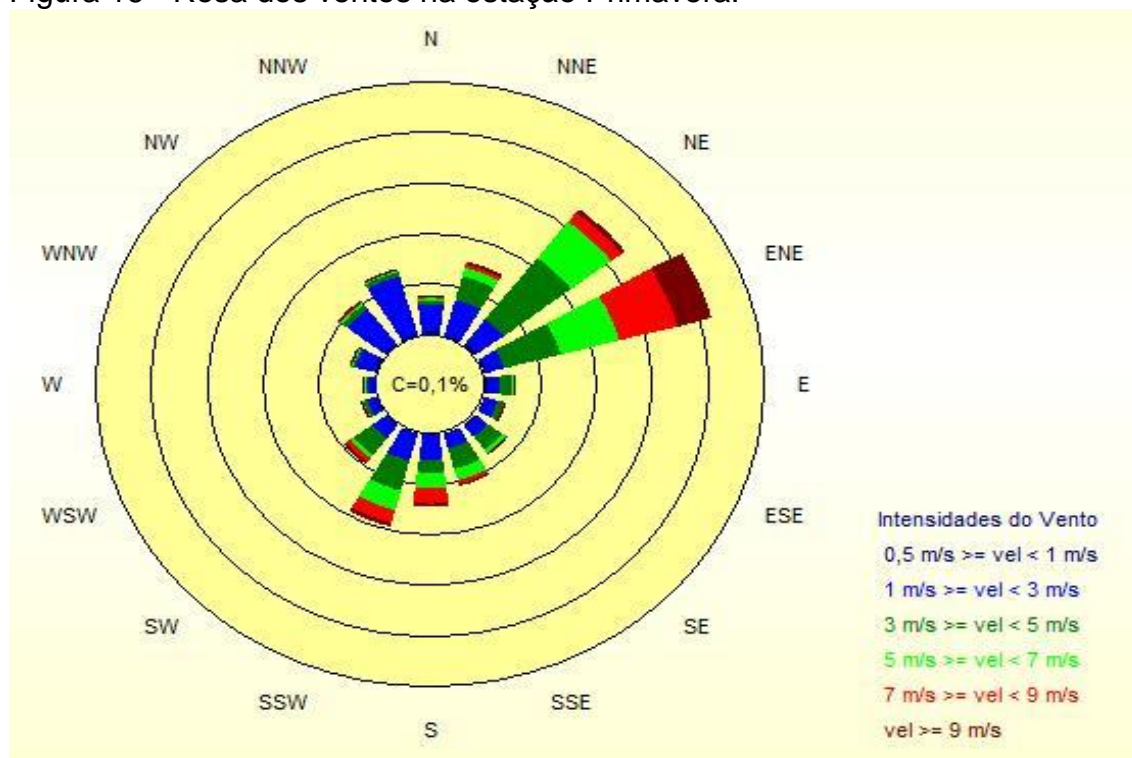
As concentrações máximas, médias e mínimas de dióxido de nitrogênio das duas demais estações de monitoramento da qualidade do ar da atividade são apresentadas na tabela 12 e a incidência dos ventos do período na figura 16.

Tabela 12 – Concentrações de dióxido de nitrogênio nas estações de monitoramento na Primavera.

	<b>Concentração (µg/m<sup>3</sup>)</b>		
	<b>Máxima</b>	<b>Média</b>	<b>Mínima</b>
<b>Estação 1</b>	52,97	7,62	0,008
<b>Estação 2</b>	54,17	8,86	0,005
<b>Estação 3</b>	49,91	13,34	1,82

Fonte: Do autor, 2015.

Figura 16 - Rosa dos ventos na estação Primavera.



Fonte: SIA, 2013

Considerando que os ventos predominantes foram leste nordeste (ENE), para estação de primavera, não há estação de monitoramento da qualidade do ar na direção sudoeste (SW) da termoeletrica, não sendo possível avaliar a contribuição da fonte nesta direção, porém os ventos nordeste (NE) e sul sudoeste (SSW) também apresentam incidência significativa.

Conforme resultados apresentados na tabela 12 observa-se que a Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar 03 novamente foi a que apresentou maior concentração média, estando na direção nordeste (NE) da termoeletrica, que pode ter contribuído nas concentrações da estação. Porém as concentrações de dióxido de nitrogênio máxima e mínima foram obtidas na estação 2, estando na direção leste sudeste (ESE) da termoeletrica, podendo ter contribuição da termoeletrica ou outras fontes no entorno da estação.

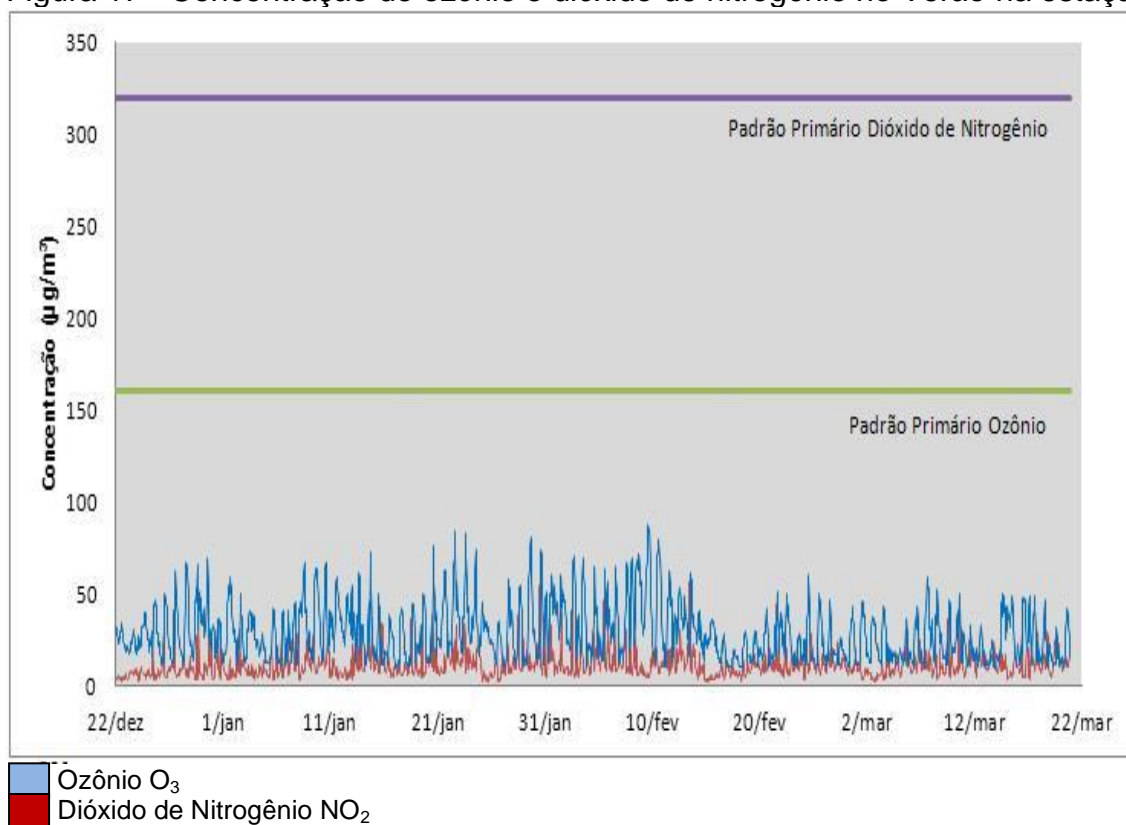
Conforme evidenciado na ilustração da rosa dos ventos, percebe-se que a atividade foco deste estudo (termoeletrica) pode ter contribuído para a concentração de poluente no local monitorado.

#### 4.1.4 Estação do ano – verão

Na estação do ano verão, o período de monitoramento compreendeu de 21 de dezembro de 2013 a 21 de março de 2014, sendo considerada a estação dos dias mais longos do que a noite e pancadas de chuva no fim de tarde.

Serão apresentados os resultados dos monitoramentos da qualidade do ar das concentrações de ozônio e dióxido de nitrogênio exposto na figura 17, durante os meses que compreendem esta estação do ano, bem como os limites estabelecidos pela legislação vigente.

Figura 17 - Concentração de ozônio e dióxido de nitrogênio no Verão na estação 03.



Fonte: Adaptado do SIA pelo autor, 2015.

Considerando a figura 17 as concentrações de dióxido de nitrogênio e ozônio se mantiveram oscilando durante os dias de dezembro e meados de fevereiro, onde ocorreu diminuição nas concentrações até o final da estação verão, porém a oscilações continuaram.

As concentrações de ozônio tiveram máxima de  $87,69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , média de  $28,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e mínima de  $9,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nenhum dos resultados obtidos de médias

horárias ultrapassaram os limites do padrão primário ( $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), bem como não atingiram os níveis críticos de qualidade do ar (nível de atenção, alerta e emergência). As concentrações de dióxido de nitrogênio tiveram máxima de  $57,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , média de  $11,65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e mínima de  $2,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nenhum dos resultados obtidos de médias horárias ultrapassaram os limites do padrão primário ( $320 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e não atingiram em nenhum episódio os níveis críticos de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 03 de 28 de junho de 1990.

Consideraram-se as condições meteorológicas da referida estação do ano ilustrada na tabela 13.

Tabela 13 - Condições meteorológicas do Verão.

	<b>Máxima</b>	<b>Média</b>
<b>Radiação (<math>\text{W}/\text{m}^2</math>)</b>	1121	314,43
<b>Precipitação (mm)</b>	48,2	0,75

Fonte: Do autor, 2015.

Na estação verão a precipitação teve média de 0,75 mm e é a presença da maior de todas as estações avaliada. Segundo Monteiro (2001), nuvens muito desenvolvidas do tipo cumulonimbus que resultam em pancadas de chuvas, principalmente no período da tarde.

Conforme Monteiro (2001), apesar do grande volume de chuvas nesta estação, pouco afeta a quantidade de horas de insolação, pois a média da radiação  $314,43 \text{ W}/\text{m}^2$  foi a maior de todas as estações do ano avaliadas. Entretanto não interferiu na formação do ozônio que relatou uma das menores concentrações média  $28,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Segundo Damilano (2006) de janeiro a abril, embora as temperaturas sejam elevadas, não se observa um número tão grande de ultrapassagens de padrão da qualidade do ar quanto no período de agosto a dezembro, o que pode ser justificado pelo aumento da nebulosidade no decorrer do dia, que reduz a radiação incidente nos baixos níveis da atmosfera, pelo aumento da precipitação que “limpa” a atmosfera e pela incidência dos ventos que foi baixa.

Foram levadas em consideração as concentrações de dióxido de nitrogênio das duas demais estações de monitoramento da qualidade do ar da atividade para ter um maior embasamento nos resultados. Na tabela 14 apresentam-se as concentrações máximas, médias e mínimas para serem avaliadas e a incidência dos ventos do período na figura 18.

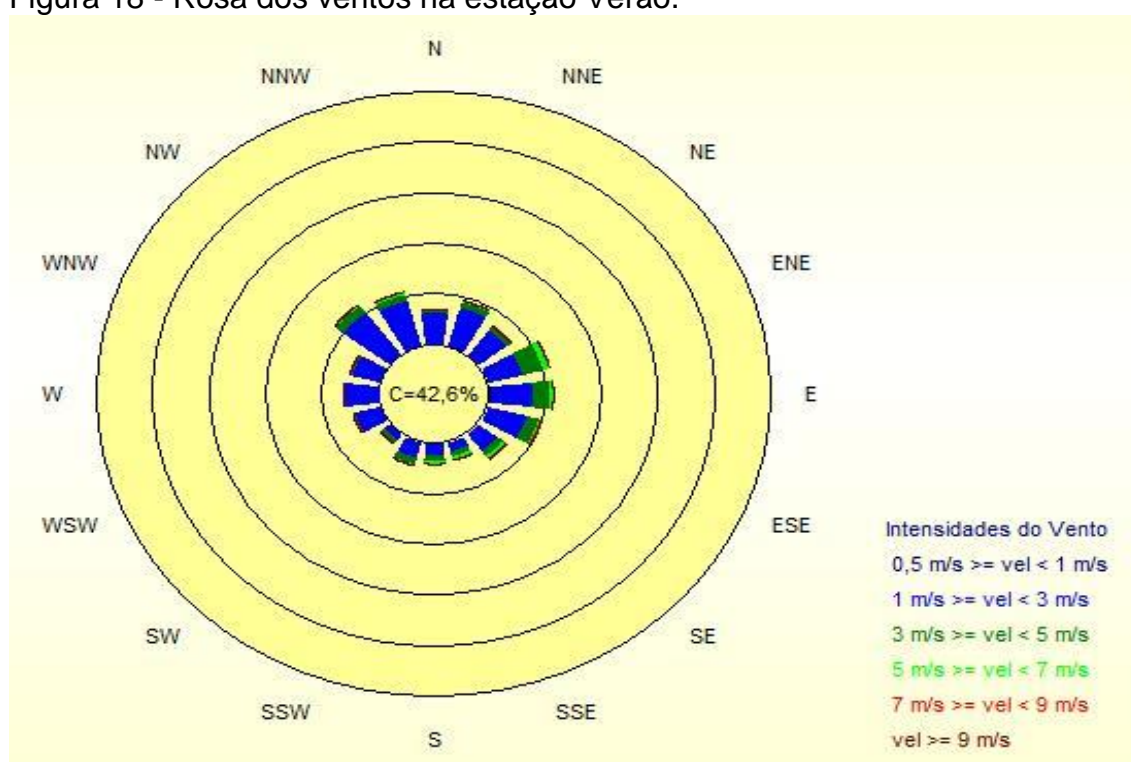


Tabela 14 – Concentrações de dióxido de nitrogênio nas estações de monitoramento no Verão.

	Concentração ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	Máxima	Média	Mínima
<b>Estação 1</b>	79,71	10,16	0,008
<b>Estação 2</b>	59,47	9,16	0,011
<b>Estação 3</b>	57,17	11,65	2,58

Fonte: Do autor, 2015.

Figura 18 - Rosa dos ventos na estação Verão.



Fonte: SIA, 2013

Considerando que os ventos predominantes foram noroeste (NW), para estação de verão, não há estação de monitoramento da qualidade do ar na direção sudeste (SE) da termoeletrica, não sendo possível avaliar a contribuição da fonte nesta direção, porém o vento leste sudeste (ESE) também apresentou incidência significativa.

Na estação 3 as concentrações de dióxido de nitrogênio tiveram a maior média com direção dos ventos nordeste (NE) da termoeletrica, porém não teve muita velocidade e direção do vento nessa estação. As concentrações máximas foram obtidas na estação 1 com direção sul sudoeste (SSW), que também não teve uma



velocidade e direção do vento significativa, entretanto, ocorreu maior calmaria e solubilização, que pode estar fazendo com que ocorra maior concentração próxima da termoeletrica. Pode-se avaliar uma interferência também nas concentrações da estação 2 com direção predominante leste sudeste (ESE) da termoeletrica.

#### 4.2 RELAÇÃO ENTRE PRODUÇÃO DE ENERGIA E RESULTADOS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

As emissões de óxidos nitrogênio oriundas da termoeletrica não possuem um monitoramento contínuo, em função disto analisou-se os resultados do monitoramento descontínuo de emissões, realizado a cada três meses, bem como geração de energia em MW para correlacionar com as concentrações obtidas nas estações de monitoramento qualidade do ar de cada estação do ano, conforme tabela 15.

Tabela 15 - Emissão atmosféricas de NOx e geração de energia nas diferentes estações do ano.

	<b>Outono</b>	<b>Inverno</b>	<b>Primavera</b>	<b>Verão</b>
Geração de Energia (MW)	1.342.831,3	1.586.463,8	1.297.163,3	1.288.409,5
Emissão Óxidos Nitrogênio (ppm)	3.368	3.570	3.207	3.168

Fonte: Do autor, 2015.

Observa-se na tabela 15 que a emissão atmosférica dos óxidos de nitrogênio apresenta relação direta com a produção de energia elétrica, à medida que a produção aumenta a emissão deste poluente apresenta o mesmo comportamento. Verifica-se isto no inverno, onde a produção foi a maior dos períodos analisados (1.586.463,8 MW) e a emissão atmosférica dos precursores do ozônio também (3.570 ppm). Essa produção elevada no inverno ocorre devido ao baixo nível pluviométrico, reduzindo a geração de energia por hidrelétricas e consequentemente, aumentando a necessidade de geração nas termoeletricas. Em contrapartida o verão foi a estação que apresentou menores resultados de produção de energia (1.288.409,5MW) e emissões de NOx (3.168 ppm).

As concentrações de dióxido de nitrogênio nas estações de monitoramento da qualidade podem estar correlacionadas com a contribuição na geração de energias da termoeletrica em estudo, visto que as maiores concentrações de dióxido de nitrogênio obtidas também no inverno. Este mesmo

comportamento é observado nas demais estações do ano, havendo uma correlação no que foi gerado de energia com as concentrações obtidas nas estações monitoramento da qualidade do ar de  $\text{NO}_2$  e consequentemente, de ozônio.

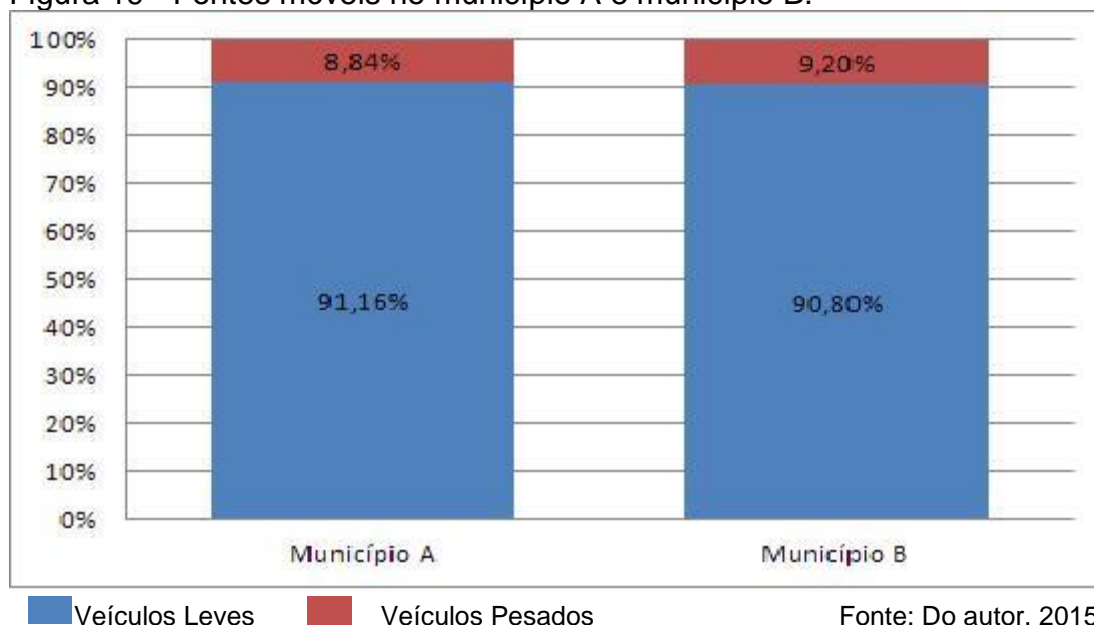
#### 4.3 FONTES PRECURSORAS DE OZÔNIO NA REGIÃO DO EMPREENDIMENTO

O ozônio troposférico é um gás secundário, formado por reações químicas entre compostos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis – denominados como gases precursores de ozônio – em presença de luz solar (ROCHA, ROSA E CARDOSO, 2004). Com base no exposto, observa-se que na região do empreendimento existem fontes móveis (veículos) e fontes fixas (indústrias), onde ocorre processo de combustão incompleta, tendo o potencial de emitir estes poluentes.

Como os municípios A e B não possuem inventário das fontes fixas de emissões atmosféricas, foram analisados somente as fontes móveis dos municípios com o intuito de avaliar a possível contribuição da mesmas na qualidade do ar.

Além da contribuição na qualidade do ar da termoeletrônica em estudo, foram avaliados, conforme a figura 19, as fontes móveis no município A e município B.

Figura 19 - Fontes móveis no município A e município B.



No município A são 91,16% de veículos leves, que corresponde 157.647 mil veículos e 8,84% de veículos pesados, ou seja, 15.292 mil veículos.

No município B as porcentagens são semelhantes porem os números de veículos são maiores, onde 90,80% são veículos leves, correspondendo a 858.818 mil veículo e 9,20% veículos pesados, 87.352 mil veículos. Analisando a figura 19, pode-se avaliar que a maioria são veículos leves e que o município B tem número de veículos entorno 5 vezes maior que o município A.

A BR 101 é principal via que interligam os dois municípios, tendo um fluxo intenso e mais elevados que os municípios A e B, pois compreende a principal via de ligação dos municípios litorâneos dos estados Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Há ainda outras vias secundárias que ligam os municípios A e B, com outros municípios.

Essa principal via pode contribuir na estação de outono e na primavera como vimos anteriormente, pois a estação de monitoramento qualidade do ar 2, está localizada na direção leste sudeste (ESE), a mesma direção que a termoelétrica também está instalada.

Entretanto a estação monitoramento da qualidade do ar 3, que está localizada no município B, próximo ao centro, a câmara de vereadores, prédios e um fluxo intenso de veículos, teve as maiores médias nas concentrações de dióxido de nitrogênio de todas as estações do ano com direção do vento nordeste (NE) da termoelétrica. No inverno onde relatou a maior concentração e maior média, os veículos junto com as condições meteorológicas podem influenciar para que essas concentrações se estabelecessem elevadas.

A estação de monitoramento da qualidade do ar 1 que está localizada no município A em um local próximo a agências bancarias, câmara de vereados e residências; com direção sul sudoeste (SSW) da termoelétrica, podem sofrer alguma influência dos veículos nas suas concentrações onde teve na estação de verão a maior máxima das concentrações de dióxido de nitrogênio.

## 5 CONCLUSÃO

O monitoramento da qualidade do ar é importante para avaliar o nível de exposição da população em relação ao ar e conseqüentemente, propor iniciativas para fiscalizar as emissões provenientes.

Em função disto, este trabalho teve como objetivo avaliar as concentrações de ozônio e seu precursor na qualidade do ar da área de estudo, correlacionando com dados meteorológicos, emissão óxidos nitrogênio e geração de energia de uma termoeletrica. Para execução do trabalho, utilizou-se dados disponíveis no sistema de informações ambientais (SIA) da termoeletrica em estudo, avaliando-se as concentrações da qualidade do ar de ozônio, dióxido de nitrogênio e de dados meteorológicos, no período sazonal do ano 2013 e 2014, comparando-os com a legislação vigente e correlacionando o comportamento dos poluentes com os dados meteorológicos.

Ainda, utilizando o sistema de informações ambientais (SIA) da Termoeletrica, obteve-se os dados de geração de energia MW e de emissão óxidos de nitrogênio, os mesmos foram correlacionados com os dados da Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar 1, 2 e 3, avaliando-se a contribuição da termoeletrica, levando em consideração os dados meteorológicos de todas as estações do ano, além de identificar a contribuição das fontes móveis na qualidade do ar.

Todos os objetivos propostos foram alcançados na avaliação da concentração do ozônio e seus precursores. No inverno foi o estágio mais crítico de todas as estações do ano, tendo as maiores médias de ozônio e dióxido de nitrogênio na estação 3, com contribuição do vento na direção Nordeste (NE) da termoeletrica. Os dados meteorológicos tiveram um papel fundamental nessas concentrações médias, pois é um período que pode ter ocorrido muitas inversões térmicas, podendo ter uma contribuição dos precursores provenientes dos veículos e da geração de energia e emissão óxidos de nitrogênio da termoeletrica em estudo, que teve a maior produção de energia do período analisado e a emissão atmosférica dos precursores do ozônio.

Em contrapartida o verão foi a estação que apresentou menores resultados de produção de energia e emissões de NOx, tendo também na estação 3 com contribuição do vento na direção Nordeste (NE) da termoeletrica, bem como

menor média das concentrações de dióxido de nitrogênio de todas as estações do ano analisadas.

A BR 101 é a principal via que interliga os dois municípios em estudo, tendo um fluxo intenso, pois compreende a principal ligação dos municípios litorâneos dos estados Santa Catarina e Rio Grande do Sul. A mesma pode ter contribuído na estação do outono e na primavera, que tiveram a segunda e a terceira maiores médias das concentrações de dióxido de nitrogênio na estação de monitoramento qualidade do ar 2, esta localizada na direção leste sudeste (ESE) a mesma direção que a termoeletrica também esta instalada.

Entretanto a geração de energia oriundos na termoeletrica em estudo tem o mesmo comportamento nas estações do outono e da primavera, havendo uma correlação no que foi gerado de energia com as concentrações obtidas nas estações monitoramento da qualidade do ar de  $\text{NO}_2$  e consequentemente, de ozônio.

Pelo exposto, em relação de trabalhos futuros, sugere-se a continuação do monitoramento da qualidade do ar, procurando avaliar as emissões atmosféricas por modelos matemáticos, avaliando-se assim maiores pontos de monitoramento da qualidade do ar. Recomenda-se também instalar analisadores de ozônio em todas as estações de monitoramento da qualidade do ar da termoeletrica.

Sugere-se ainda a realização de um inventário de demais fontes fixas de emissões dos percursores de ozônio, bem como a realização de novo estudo de dispersão dos poluentes atmosféricos por parte da termoeletrica, verificando as incidências de ventos atuais e barreiras físicas na dispersão de poluentes atmosféricos, subsidiando a análise de localização de novas estações de monitoramento da qualidade do ar.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, Dejanira Maria; PIUBELI, Francine Amaral. **A poluição atmosférica interferindo na qualidade de vida da sociedade.** In: X Simpósio de Engenharia de Produção, 10., 2003, São Paulo. **Anais...** Bauru, São Paulo, 2003. Disponível em: <[http://www.amda.org.br/imgs/up/Artigo\\_24.pdf](http://www.amda.org.br/imgs/up/Artigo_24.pdf)>. Acesso em: 02 outubro 2015.

BAIRD, Colin. **Química ambiental.** 2ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p.  
BRAGA, Benedito et al. Introdução à engenharia ambiental. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 305 p.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 003, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Brasília: **Diário Oficial da União**, 22 de agosto de 1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>. Acesso em: 03 agosto 2015.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 005, de 15 de junho de 1989. Dispõe sobre o programa nacional de controle da poluição do ar - PRONAR. Brasília: **Diário Oficial da União**, 30 de agosto de 1989. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res89/res0589.html>>. Acesso em: 03 agosto 2015.

BRASIL. Lei nº 6938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília: **Diário Oficial da União**, 02 de outubro de 1981. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm)>. Acesso em: 05 agosto 2015.

CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro. **Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos Brasileiros.** Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2011. 42p. Disponível em: <[http://www.en.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td\\_1606.pdf](http://www.en.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_1606.pdf)>. Acesso em: 20 outubro 2015.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Padrões de Qualidade do Ar.** São Paulo, 2013. Não paginado. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/padroes-de-qualidade-do-ar>>. Acesso em: 04 agosto 2015.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Poluentes.** Não paginado. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/poluentes/>>. Acesso em: 04 agosto 2015a.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Abrangência Espacial das Estações de Monitoramento de Ozônio (referente ao item I do Artigo 14º do Decreto Estadual nº 59.113/2013).** São Paulo, 2014. 18 p. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2013/12/relatorio->

GTO3.pdf >. Acesso em: 12 agosto 2015.

DALLAROSA, Juliana Braga. **Estudo da formação e dispersão de ozônio troposférico em áreas de atividade de processamento de carvão aplicando modelos numéricos**. 2005. 114 p. Dissertação (Mestrado em sensoriamento remoto) Programa de pós-graduação em sensoriamento remoto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <[http://www.ufrgs.br/srm/ppgsr/publicacoes/Dissert\\_JulianaDallarosa.pdf](http://www.ufrgs.br/srm/ppgsr/publicacoes/Dissert_JulianaDallarosa.pdf)>. Acesso em: 25 outubro 2015.

DAMILANO, Daniela Cristina Rezende. **Estudo da influência da poluição atmosférica e das condições meteorológicas na saúde em São José dos Campos**. 2006. 44 p. Relatório final de projeto de iniciação científica PIBIC/CNPq/INPE. Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://mtc-m15.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m15@80/2006/08.09.19.29/doc/Daniela%20Cristina%20Damilano.pdf>>. Acesso em: 20 outubro 2015.

DERISIO, José Carlos. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 2. ed. São Paulo: Signus, 2000. 164 p.

DETRAN, Departamento Estadual de Trânsito. **Frota de veículos por município**. Disponível em: < <http://www.detran.sc.gov.br/index.php/estatistica/veiculos>>. Acesso em 25 outubro 2015.

DOURADO, Harerton Oliveira. **Métodos de medição e monitoramento de contaminantes atmosféricos**. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2005. 24 p.

FRANCISCO, Wagner Cerqueria e. **Inversão Térmica**. Brasil Escola. S.d. Não paginado. Disponível em: <http://www.brasilecola.com/geografia/inversao-termica.htm>. Acesso em: 25 outubro 2015.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2002.175p.

GOMES, João Fernando Pereira. **Poluição atmosférica: um manual universitário**. Porto: Políndústria, 2001. 176 p.

HOLGATE, S. T.; SAMET, J. M.; KOREN, H. S.; MAYNARD, R. L. **Air Pollution and Health**. Academic Press: London, 1999.

IBGE, Censo Demográfico 2010. **Características Gerais da População**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 25 outubro 2015.

LACAVA, Carlos Ibsen Vianna. **Avaliação da qualidade do ar**. In: Emissões atmosféricas. 2003. p. 131 - 180. Disponível em: <[http://www.ambiental.ufpr.br/wp-content/uploads/2014/08/Livro\\_TGA-EA-\\_cap\\_2\\_\\_QUAL\\_AR.pdf](http://www.ambiental.ufpr.br/wp-content/uploads/2014/08/Livro_TGA-EA-_cap_2__QUAL_AR.pdf)>. Acesso em: 04 novembro 2015.

MAIOLI, Otavio Luiz Gusso; NASCIMENTO, Gilsiane Nogueira. **Composição da atmosfera, Ciclos Globais e Tempo de Vida**. Vitória. Universidade Federal do Espírito Santo, 2005. 29p. Disponível em: <<http://www.ambiente.com.br/main.php?ver=artigo&id=7>>. Acesso: 29 setembro 2015.

MONTEIRO, M. A. **Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano**. Revista do Departamento de Geociências – GEOSUL, Florianópolis, v. 16, n. 31, p. 69-78, 2001.

MOUVIER, Gérard; MACHADO, Luciano Vieira. **A poluição atmosférica**. São Paulo: Ed. Ática, 1997. 104 p.

PEDROSO, Andrea Nunes Vaz. **Poluentes atmosféricos & plantas bioindicadoras**. 2007. 18 p. Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente. Instituto de Botânica, São Paulo, 2007. Disponível em: <[http://www.biodiversidade.pgibt.ibot.sp.gov.br/Web/pdf/Poluentes\\_Atmosfericos\\_&\\_Plantas\\_Bioindicadoras\\_Andrea\\_N\\_V\\_Pedroso.pdf](http://www.biodiversidade.pgibt.ibot.sp.gov.br/Web/pdf/Poluentes_Atmosfericos_&_Plantas_Bioindicadoras_Andrea_N_V_Pedroso.pdf)>. Acesso em: 02 novembro 2015.

PINHO, Eduardo Henrique Braga. **Estudo de ampliação de extração de vapor e de aumento de eficiência energética de uma termelétrica**. 2014. 54 f. (Curso de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10009951.pdf>>. Acesso em: 20 outubro 2015.

ROCHA, Julio Cesar; ROSA, André Henrique; CARDOSO, Arnaldo Alves. **Introdução à química ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2004. 154 p.

SEWELL, Granville H. (Granville Hardwick). **Administração e controle da qualidade ambiental**, 1978. 295 p.

SIA, Sistema de Informação Ambiental. **Banco de Dados**, 2013.

VESILIND, P. Aarne; MORGAN, Susan M. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 438 p.

ZILBERMAN, Isaac. **Introdução à engenharia ambiental**. Canoas, RS: ULBRA - Universidade Luterana do Brasil, 1997. 101 p.